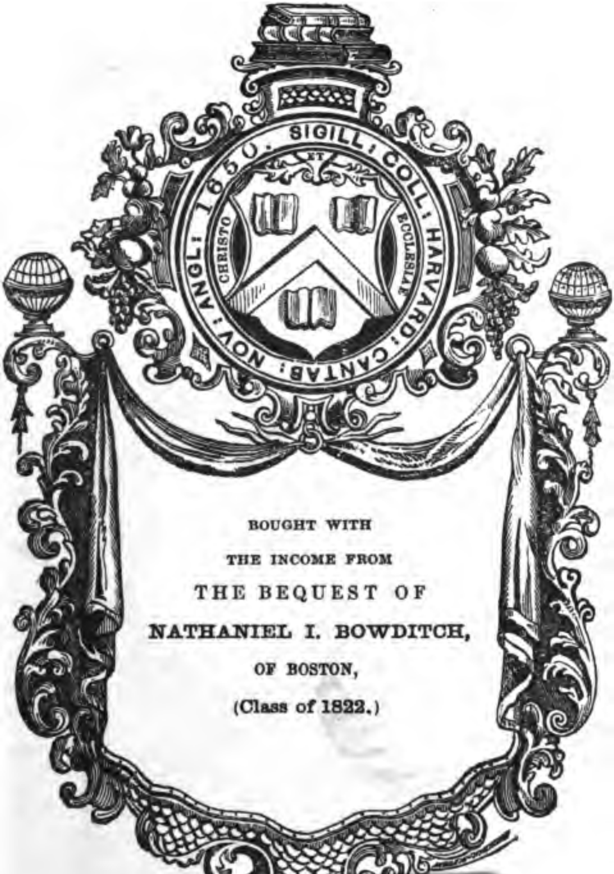

SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO ET ECCLESIAE
BOUGHT WITH
THE INCOME FROM
THE BEQUEST OF
NATHANIEL I. BOWDITCH,
OF BOSTON,
(Class of 1822.)

Naturkräfte.

V.

Himmel und Erde.

Eine

gemeinfaßliche Beschreibung des Weltalls

von

Prof. Dr. Zech
in Stuttgart.

Mit 45 in den Text aufgenommenen Holzschnitten und fünf Tafeln.

München.
Verlag von R. Oldenbourg.
1870.

Inhalt.

Seite

I.

Einleitung 1
1. Art der astronomischen Forschung . . . . . —
2. Das Fernrohr 8
3. Das Spectroskop 22

II.

Die Fixsternwelt 31
1. Bewegungen der Fixsterne . . . . —
2. Entfernungen der Fixsterne. Parallaxe . . . 36
3. Aberration 44
4. Vertheilung der Fixsterne im Raum 56

III.

Das Sonnensystem im Ganzen 72
1. Gemeinsame Eigenschaften der dem Sonnensystem angehörigen Körper . . . . —
2. Kepler's Gesetze 81
3. Die Kometen und Asteroiden 87
4. Die Sonne als Wärmequelle 106
5. Entfernung der Sonne von der Erde, Maße des Sonnensystems 123

Seite

IV.

Die Planeten 133
1. Newton's Gravitationsgesetz . . . . —
2. Die einzelnen Planeten 145
3. Der Mond und das Zodiakallicht 166
4. Die Erde 183

V.

Orientirung auf der Erde nach Raum und Zeit . . . 208
1. Zeitbestimmung . . . . —
2. Bestimmung der geographischen Breite . . . 236
3. Bestimmung der geographischen Länge . . . 242
4. Zeitrechnung und Kalender 270

I.

Einleitung.

1. Art der astronomischen Forschung.

Was wissen wir von den Dingen, die außerhalb der Erde existiren, und auf welche Weise sind wir zu dieser Kenntniß gelangt? Das sind die zwei Fragen, die wir uns zu stellen und die wir zu beantworten haben. Was auf der Erde ist, wirkt vielfach auf unsere verschiedenen Sinne, wir haben es in unmittelbarem Besitz, wir können es Versuchen unterwerfen, wir können seine Eigenschaften nach allen Seiten hin untersuchen. Anders bei den außerirdischen Gegenständen: sie wirken nur auf den einzigen Sinn des Gesichts ein (mit Ausnahme der Sonne, die sich auch unserm Gefühlssinn durch Wärmestrahlung bemerklich macht), sie sind außerhalb des Bereiches unseres Arms und geben sich nicht zu physikalischen oder chemischen Experimenten her. Der Gesichtssinn belehrt uns zunächst nur über ihre Bewegungen und so wurde die Astronomie wesentlich die Lehre von den Bewegungen der Himmelskörper. Mit dem Auftauchen der Fernröhren kam ein neues Gebiet hinzu, die Erforschung der Oberflächebeschaffenheit der Himmelskörper, freilich nur bei einer kleinen Zahl der

der Erde nächsten, da selbst die ausgezeichnetsten Teleskope nicht weiter reichten; und erst in der neuesten Zeit hat es die Spectralanalyse möglich gemacht, auch die entferntesten Himmelskörper auf ihre physikalische oder chemische Beschaffenheit zu untersuchen. Folgen wir der Geschichte der Erwerbung unserer Kenntnisse von den Himmelskörpern, so finden wir, daß die rascheſten Schritte vorwärts immer dann geschehen, wenn mit kühnem Blick unbekannte Erscheinungen auf Gesetze zurückgeführt wurden, welche auf der Erde längst bekannt waren. Es ist ein Satz, der sich in der Geschichte der Astronomie durchgängig bewährt, daß wir die außerirdischen Erscheinungen und Bewegungen nur begreifen lernen, wenn wir annehmen, daß Naturgesetze, die auf der Erde gelten, auch im ganzen Weltall ihre Giltigkeit bewahren müssen. Am deutlichsten hat sich das gezeigt bei der Entdeckung, welche die erste Rolle in der Geschichte der Astronomie spielt, weil sie es war, welche der Astronomie allmählich ihren Rang als der ersten der Wissenschaften sicherte: bei der Entdeckung der allgemeinen Anziehung durch Newton. Wenn auch schon Kepler eine Ahnung hatte, daß die Sonne eine Kraft ausübe, welche die Planeten in ihrer Bahn erhalte, wenn auch schon vor Newton von dieser Kraft behauptet wurde, sie nehme wie das Licht, der Schall u. s. w. im Verhältniß des Quadrats der Entfernung ab: die große Entdeckung Newton's wird immer sein, daß er gefunden hat, daß diese Kraft keine andere ist, als diejenige, welche die Körper gegen die Erdoberfläche fallen macht, welche das Pendel zum Schwingen bringt und welche alle ruhenden Körper zwingt, auf ihre Unterlage zu drücken, schwer zu sein. Wenn die Erde die

Körper an ihrer Oberfläche anzieht — so schloß Newton — so muß sie auch Entfernteres, z. B. den ihr nächsten Himmelskörper, den Mond, anziehen. Da nun die Abnahme der Anziehung mit der Entfernung und die Entfernung des Monds von der Erde bekannt ist, so muß sich unmittelbar finden lassen, wie groß die Anziehung der Erde auf den Mond ist und ob diese Anziehung genügt, den Mond in seiner Bahn zu erhalten. Als es Newton gelungen war, dies nachzuweisen, da nahm er keinen Anstand, noch weiter zu gehen und das, was er für Erde und Mond als wahr erkannt hatte, auf die Planeten und die Sonne auszudehnen. Ein und dieselbe Kraft regelt alle Bewegungen des Sonnensystems, die Bewegungen der Planeten in ihren Bahnen um die Sonne und die der Trabanten um die Planeten. Es gelang Newton, unter dieser Annahme die drei Gesetze, welche Kepler aus den genauesten Beobachtungen der damaligen Zeit für die Bewegungen der Planeten gefunden hatte, auf ein einziges, das der allgemeinen Anziehung, zurück zu führen. Es konnte nun kein Zweifel mehr sein, daß das Richtige zur Erklärung aller Himmelsbewegungen gefunden sei: unter dieser Voraussetzung fand Laplace den Schlüssel zur Enträthselung einer Reihe eigenthümlicher Bewegungen, welche man Störungen nannte, weil sie sich nicht in die Kepler'schen Gesetze fügten, die aber jetzt als einfache Consequenzen des allgemeinen Gesetzes sich ergaben. In der neuesten Zeit aber hat man auch Bewegungen außerhalb unseres Sonnensystems erforscht und gemessen und einen Anhaltepunkt zu ihrer Erklärung wieder in demselben Gesetze gefunden. Wir dürfen also wohl sagen, daß an

der Giltigkeit des Gesetzes der allgemeinen Anziehung, wie es Newton aufgestellt hat, für den ganzen Weltraum heutzutage kein Zweifel mehr sein kann, und daß die hohe Ausbildung desjenigen Theils der Astronomie, welcher sich mit den Bewegungen der Himmelskörper abgibt, eben darauf beruht, daß stufenweise die nächsten bis zu den entferntesten Ortsveränderungen nach Newton's Vorgang auf dasselbe Gesetz zurückgeführt wurden.

Es ist dieses Gesetz unabhängig von der Art des Stoffs, wie Bessel zuerst direct für die Anziehung der Erde nachwies. Die Erdanziehung setzt das Pendel in Bewegung und theilt ihm, so oft es aus der Ruhe gebracht wird, eine Geschwindigkeit mit, vermöge der es in einer bestimmten Zeit eine Schwingung zurücklegt. Aendert man den Stoff des Pendels, läßt aber die Form — damit nicht etwa der Luftwiderstand sich ändert — so müßte die Schwingungszeit eine andere werden, wenn die Anziehung vom Stoff abhängig wäre. Die Versuche, die Bessel mit Silber, Eisen, Messing, Glas u. s. w. machte, ließen nicht die kleinste Verschiedenheit der Schwingungszeit beobachten. Also durfte man schließen, daß die Bewegungen der Himmelskörper unabhängig seien von dem Stoff, aus dem sie bestehen. Damit schien aber auch die Möglichkeit verloren, irgend einmal etwas über die Stoffe des Weltalls zu erfahren. Nur eine Zuflucht gab es und diese lag in den Meteorsteinen. Wenn man sie als Körper betrachtete, welche aus dem allgemeinen Weltraum stammen, so lag in dem Ergebniß der chemischen Untersuchung, wornach sie nur Stoffe enthalten, die auch auf der Erde vorkommen, der Beweis, daß auch die Stoffe

im Weltall überall dieselben seien; und daß sie wirklich Körper sind, die von außen in unser Sonnensystem hereinkommen, das werden wir später sehen. In ganz überraschender Weise hat sich nun aber ein weites Feld für stoffliche Untersuchung des Himmelsraums geöffnet. Die Spectralanalyse hat gezeigt, daß die Art des Lichts, das uns die Himmelskörper zusenden, von dem Stoff abhängt, von dem es ausgeht und durch welchen es hindurchgeht, sie hat schon jetzt eine Reihe von Stoffen im Himmelsraum aufgefunden, die mit irdischen Stoffen identisch sind, und wenn wir auch noch nicht sagen können, es sei nachgewiesen, daß überall im Weltraum der Stoff der gleiche sei, so ist es doch schon jetzt sehr wahrscheinlich gemacht.

Von welcher Wichtigkeit für die Erforschung des Außerirdischen die Gleichheit des Stoffs im ganzen Weltraum ist, das zeigt sich schon jetzt bei den Untersuchungen der Spectralanalyse über die Sonne. Es ist nicht daran zu zweifeln, daß die Atmosphäre der Sonne Eisen enthält, und zwar, wegen der bedeutenden Hitze, in Form von Dampf; sobald wir annehmen, daß die Gesetze der Verdampfung auf der Sonne dieselben sind, wie auf der Erde, so können wir schließen, wie hoch die Temperatur und der Druck auf der Sonne sein muß. Fänden wir dagegen in jener Atmosphäre keinen auf der Erde bekannten Stoff, so wäre der Schluß unmöglich, da wir den Stoff bei seiner Verdampfung nicht untersuchen könnten, weil er eben nicht bei uns zu finden wäre.

Wir dürfen also sagen: Gleichheit der Stoffe und Gleichheit der Kräfte im ganzen Weltraum haben es möglich gemacht in die Kenntniß des Außerirdischen einzu-

bringen, und es ist noch keine Thatsache festgestellt, welche auf einen Stoff oder eine Kraft schließen ließe, die der Erde fremd sind. Wir können noch hinzusetzen, daß eben diese Erkenntniß uns die Himmelskörper näher gebracht hat, weil sie uns in verwandtschaftliche Beziehung zu ihnen setzte. In den ältesten Zeiten diente die regelmäßige Bewegung der Sterne am Himmelsgewölbe zur Bestimmung der Stunde der Nacht und des Tages und zur Unterscheidung der Jahreszeiten. Man beobachtete den Auf- und Untergang der Sterne zu verschiedenen Zeiten des Jahres, man gruppirte die Sterne in Sternbilder, um ihre Lage bequem bezeichnen zu können, man suchte die Bewegung des Monds, der Planeten und Kometen nach ihrer Lage unter den Fixsternen zu bestimmen, man setzte insbesondere den Lauf der Sonne unter den Sternbildern fest durch Beobachtung der Sterne, welche man kurz vor Sonnenaufgang noch aufgehen oder kurze Zeit nach Sonnenuntergang gerade noch untergehen sah (heliakischer Auf- und Untergang der Sterne). Das Himmelsgewölbe diente also der Erde nur als Mittel zur Zeitbestimmung, Mond und Sonne waren nur da, um die Erde zu erleuchten: die Erde war Mittelpunkt der ganzen Welt, die andern Himmelskörper betrachtete man nur als Lichter am Himmelszelt, die der Erde zu lieb angezündet waren. Nur langsam drang die Ueberzeugung durch, daß die Erde nicht fest gegründet im Raum sein könne, zuerst in der Form, daß man ihr die Kugelform zuschrieb, wie das schon zu Anfang unserer Zeitrechnung geschah, erst lange nachher, indem man ihr eigene Bewegung zuschrieb. Das Kopernikanische Weltsystem nahm der Erde ihr einge-

bildetes Vorrecht, Mittelpunkt der Welt zu sein und setzte sie zunächst mit den übrigen Planeten auf eine Stufe. Kepler krönte das System, indem er auf mühsamem Weg des Probirens durch Deutung der Beobachtungen Tycho's die wahre Form der Planetenbahnen und das Gesetz ihrer Bewegung fand. So weit gelangte die Astronomie ohne Hilfe des Fernrohrs: Tycho wandte es nicht an, obgleich es zu seiner Zeit schon erfunden war. Alle weitern Fortschritte hingen dagegen eng mit seiner Anwendung und Verbesserung zusammen. Einestheils war es möglich, mit seiner Hilfe, durch die Vergrößerung, die es gestattete, die der Erde nächsten Himmelskörper besser kennen zu lernen, Die Trabanten des Jupiter, die Lichtgestalten der Venus und des Merkur, den Ring des Saturn und anderes aufzufinden; anderntheils ließ es, so oft seine raumdurchdringende Kraft wieder vermehrt wurde, immer neue Körper und neue Welten entdecken; und endlich machte es Messungen von einer früher nicht zu erreichenden Genauigkeit möglich. Das Eindringen in die Tiefen des Weltenraums ließ die Erde als Theil der Welt immer mehr zurücktreten und man gefiel sich allmählich in der Anschauung, daß die Erde ein winziges, unbedeutendes Atom des Weltalls sei. Für manchen mochte das etwas Abschreckendes und Demüthigendes haben, um so freudiger dürfen wir die neuesten Fortschritte begrüßen, welche die Gleichberechtigung der Erde neben den unzähligen andern Atomen des Weltalls wieder hervorhoben und nachwiesen, wie im Kleinen immer wieder die Kräfte und Eigenschaften des Ganzen sich wiederholen, so daß die Erkenntniß des Irdischen auch die des Außerirdischen mit sich führt.

Ehe wir an die Auseinandersetzung des von den Astronomen bis jetzt Erforschten gehen, wird es nöthig sein, die Mittel kennen zu lernen, welche zu diesem Ziel geführt haben und noch führen: das Fernrohr und das Spectroskop. Es ist allerdings heutzutage das erste Jedermann bekannt, aber gewöhnlich nur einseitig, sofern es die Gegenstände vergrößert zeigt, oder mit dem bloßen Auge unsichtbare Dinge erkennen läßt. Für den Astronomen ist dagegen das Fernrohr hauptsächlich Meßwerkzeug, und es ist zunächst unsere Aufgabe, es als solches näher ins Auge zu fassen; daran wird sich die Beschreibung des Spectroskops anreihen.

2. Das Fernrohr.

Wenn wir einen Gegenstand deutlich sehen wollen, so bringen wir ihn in die für unser Auge passende Entfernung, sei es daß wir ihn dem Auge nähern, sei es daß wir uns zu demselben hinbegeben. Dieses Verfahren wird aber unmöglich, sobald es sich um Dinge handelt, die außerhalb der Erde sind: wir können sie nicht zu uns herholen und wir können nicht zu ihnen gelangen. Zu ihrer genauern Betrachtung sind also künstliche Mittel nöthig, wir nennen Instrumente, welche diesem Zwecke dienen, Fernröhren.

Mit jedem gewöhnlichen Brennglas, mit einem Glas der Brille eines Weitsichtigen, überhaupt mit jeder Glaslinse, d. h. mit jedem Glasstück, das die Form einer Linse hat, läßt sich der Versuch anstellen, daß die Strahlen, die von einem leuchtenden Punkt ausgehend das Glas treffen,

hinter demselben sich zu einem Bilde des leuchtenden Punktes sammeln: man kann dieses Bild in einer durch Probiren leicht zu findenden Entfernung mit einem Papierschirm auffangen. Macht man den Versuch mit einer Kerzenflamme oder Gasflamme, so erkennt man noch weiter, daß das aufgefangene Bild ein umgekehrtes ist, und daß, je weiter die Flamme von dem Glase entfernt ist, desto kleiner das Bild wird und desto näher der Schirm an das Glas gebracht werden muß. Macht man den Versuch mit der Sonne, so erhält man ein kleines glänzendes Bild derselben in der Entfernung der Brennweite des Glases: Brennweite heißt diese Entfernung, weil dort nicht blos die Lichtstrahlen, sondern auch die stets das Licht begleitenden Wärmestrahlen auf einen so kleinen Raum zusammengedrängt werden, daß sie im Stande sind, eine bedeutende Erhitzung hervorzubringen und unter Umständen den Schirm zu entzünden. Die Stelle selbst heißt der Brennpunkt und man bedient sich dieses Namens auch dann, wenn man nicht von Wärmestrahlen, sondern von Lichtstrahlen spricht. Jeder leuchtende Körper, der eine große Entfernung — etwa tausend Meter — von der Glaslinse hat, gibt ein Bild an dem Ort, wo der Brennpunkt der Linse liegt; alle Himmelskörper ohne Ausnahme haben so bedeutende Entfernungen, daß ihr Bild immer in der Brennweite zu suchen ist. Wer einmal ein Fernrohr so gerichtet hat, daß er einen Stern oder den Mond oder einen Planeten u. s. w. deutlich sieht, der sieht bei gleicher Stellung des Fernrohrs alle Himmelskörper gleich gut. Anders ist das auf der Erdoberfläche, wo auch nähere Gegenstände mit dem Fern-

rohr betrachtet werden; Jedermann weiß, daß hier immer eine kleine Verstellung, ein Ausziehen oder Zusammenschieben nöthig ist, je nachdem man einen nähern oder entferntern Gegenstand betrachten will, und daß es schließlich eine Nähe gibt, für welche das Fernrohr ganz unbrauchbar wird. Wenn nämlich der leuchtende Punkt bei dem oben genannten Versuch bis in eine Entfernung, welche der Brennweite des Glases gleich ist, oder noch näher gebracht wird, so sucht man vergeblich ein Bild aufzufangen, es gibt keines mehr. Wohl aber sieht man in diesem Fall durch das Glas hindurch den Gegenstand vergrößert, die Linse dient jetzt als Loupe. Je gewölbter die zwei Flächen der Linse sind, desto bedeutender ist die Vergrößerung.

Beide Eigenschaften der Glaslinsen, Erzeugung eines umgekehrten Bilds eines fernen Gegenstands in der Brennweite und Vergrößerung eines Gegenstands, der näher ist als die Brennweite, werden bei dem Fernrohr benützt. Eine erste Linse gibt ein Bild eines entfernten Gegenstands: dieses Bild ist nun freilich sehr klein, also seine Einzelnheiten schwer zu erkennen, aber wir können es an jeden beliebigen Ort bringen, unserem Auge so nahe als wir wollen. Schon dadurch sind wir im Stande, Einzelnheiten am Bilde zu unterscheiden, welche wir am Gegenstande selbst nicht erkennen; benützen wir nun aber eine zweite Linse mit stark gewölbten Flächen als Loupe, um jenes Bild zu betrachten, so ist uns die Möglichkeit gegeben, alle Einzelnheiten des Bildes genau zu erforschen, wenn nur die zwei Linsen passend ausgewählt sind.*)

*) Näheres über das Fernrohr s. Pisko, Licht u. Farbe S. 225.

Das erste Glas, welches das Bild gibt, heißt Objectiv, weil es dem Gegenstand oder Object zugekehrt ist, das zweite, welches als Vergrößerungsglas dient, heißt Ocular, weil es dem Auge (lateinisch oculus) anliegt. Beide sind in ein innen geschwärztes Rohr eingeschlossen, um alles unnöthige Licht abzuhalten und dadurch die Empfindlichkeit des Auges für das allein zu betrachtende zu erhöhen.

Wenn man bei dem oben angeführten Versuch mit der Kerzenflamme die Glaslinse und den Schirm feststellt (Fig. 1), so läßt sich leicht erkennen, daß eine gerade Linie

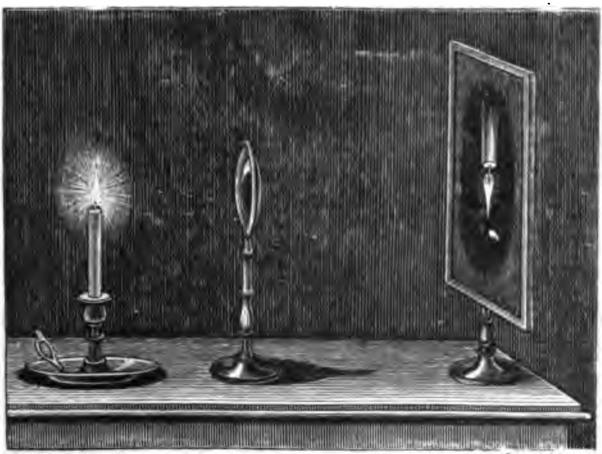


Fig. 1.

von der Spitze der Kerzenflamme zu der Spitze des Bildes durch die Mitte der Glaslinse geht: dasselbe ist der Fall, wenn irgend zwei entsprechende Punkte des Gegenstandes und Bildes durch eine Gerade verbunden werden. Daraus

ergibt sich, daß man aus der Lage eines Punkts auf dem Bilde sehr einfach auf die Richtung schließen kann, nach welcher hin der entsprechende Punkt des Gegenstandes liegt: man darf nur durch den ersten Punkt und die Mitte des Objectivs eine gerade Linie ziehen. Man habe z. B. das Bild eines hellen Sterns auf dem Schirm erhalten und markirt; da die Erde sich dreht, so bewegt sich das Bild des Sterns auf dem Schirm, ist also nur einen Moment an jener Stelle. Lassen wir aber das Ganze stehen, so wird nach 24 Stunden, wenn die Erde ihre Umdrehung vollendet hat, das Bild des Sterns an demselben Punkte erscheinen: eine einfache Glaslinse gibt uns so das Mittel, den Gang einer Uhr zu controliren. In einem Fernrohr läßt sich nun freilich die Stelle, wo das Bild eines Punkts entsteht, nicht markiren, aber man kann wenigstens einen oder mehrere markirte Punkte anbringen, sei es dadurch, daß man zwei sehr feine Fäden aus dem Gespinnst einer Spinne rechtwinklig zu einander ausspannt, sei es, daß man auf einer Glasplatte zwei sehr feine sich kreuzende Linien auszieht. Wegen der Feinheit der Fäden oder Striche geht sehr wenig von dem Bilde verloren und durch den Kreuzungspunkt ist ein bestimmter Punkt des Bildes festgestellt; erscheint also in diesem Punkt ein Stern, so ist die Richtung nach ihm vollkommen bestimmt. Hat man ein Fernrohr, das auf einem Statif so befestigt ist, daß man es nach allen Seiten hin drehen und dann wieder feststellen kann, so hat man es in der Hand, in einem bestimmten Moment einen Stern durch den Kreuzungspunkt gehen zu lassen, und dies geschieht dann immer wieder nach je 24 Stunden.

Es ist hiebei ganz gleichgiltig, welche Lage das Fernrohr hat, ob es nach Norden oder Süden geht, ob es mehr oder weniger geneigt ist, es soll nur eine bestimmte unveränderliche Richtung angeben. In den meisten Fällen muß man aber die Richtung des Fernrohrs irgendwie bestimmen können: man will z. B. einen bestimmten Stern beobachten oder bei Tag etwa einen mit bloßen Augen nicht sichtbaren Planeten aufsuchen. In beiden Fällen muß man Mittel haben, das Fernrohr so einzustellen, ihm eine solche Richtung zu geben, daß das Gesuchte im Gesichtsfeld erscheint. Um zunächst überhaupt eine Richtung mit bestimmten Worten zu bezeichnen, kann man sich an die Hauptpunkte des Horizonts: Ost, Süd, West und Nord halten, und noch die gebräuchlichen Unterabtheilungen NO u. s. w. hinzunehmen. Damit ist im Allgemeinen die Richtung bezeichnet, nach welcher ein Gegenstand im Horizonte erscheint, man sagt so z. B.: die Sonne geht in Osten, in Südosten u. s. w. auf. Will man aber genauer verfahren, so denkt man sich den Bogen des Horizonts von Ost nach Süd, von Süd nach West u. s. w. je in 90 Theile getheilt, und nennt jeden Theil einen Grad. Um ein Bild von der Größe eines Grades zu erhalten, kann man sich merken, daß die Breite der Sonnen- oder Mondscheibe beiläufig einen halben Grad beträgt, so daß man längs des Horizonts z. B. von Ost nach Süd etwa 180 Sonnen- oder Mondscheiben neben einander unterbringen könnte. Jetzt läßt sich jede Richtung im Horizont einfach bestimmen, indem man sagt, wie viel Grade sie von Ost aus gegen Süd oder von West aus gegen Nord u. s. w. absteht. Wenn man sagt: die

Sonne geht am 1. Januar 40 Grade von Ost gegen Süd auf, so ist der Ort vollkommen bestimmt, man kann z. B. ein Fernrohr zum Voraus so richten, daß man sie gleich beim Aufgang beobachten kann. Noch genauere Bestimmungen erhält man, wenn man kleinere Unterabtheilungen einführt, Minuten und Secunden, jene der 60ste Theil eines Grads, diese der 60ste Theil einer Minute. Unbequem ist, daß die Bezeichnung Minuten und Secunden auch bei der Zeiteintheilung vorkommt, man hat deswegen bei der abgekürzten Bezeichnung wenigstens verschiedene Zeichen eingeführt, und schreibt beispielsweise: die Sonnenscheibe ist am 1. Januar 31′ 26″ breit, d. h. 31 Minuten und 26 Secunden als Theile eines Grads, oder 31 Bogenminuten und 26 Bogensecunden; auf der andern Seite: die Sonnenscheibe braucht $4^m\ 26^s$, bis sie durch das Gesichtsfeld eines Fernrohrs hindurchgeht, d. h. 4 Zeitminuten und 28 Zeitsecunden.

Handelt es sich aber weiter um die Richtung zu einem Gegenstand, der nicht in den Horizont fällt, so gibt man — in gleichen Graden — an, wie hoch er über dem Horizont liegt und über welcher Richtung im Horizont. Z. B. ein Stern steht 20 Grad über der Richtung NO heißt: über dem Nord-Ost-Punkt des Horizonts denke man sich 40 Sonnenscheiben eine über der andern, am Rande der letzten steht der Stern. Der Bogen im Horizont, werde er nun von Osten oder Süden u. s. w. gerechnet, wenn nur jedesmal gesagt ist, von wo an, heißt **Azimuth**, der Bogen **über** dem Horizont heißt **Höhe**, und man erkennt somit den Sinn

des Satzes: Jede Richtung ist durch Azimuth und Höhe bestimmt.

Wir denken uns nun ein Statif mit einer vertikalen Axe fest aufgestellt, um diese Axe drehe sich eine Hülse, an welcher das Fernrohr horizontal befestigt ist: man kann jetzt das Fernrohr durch Drehen um die Axe in jede

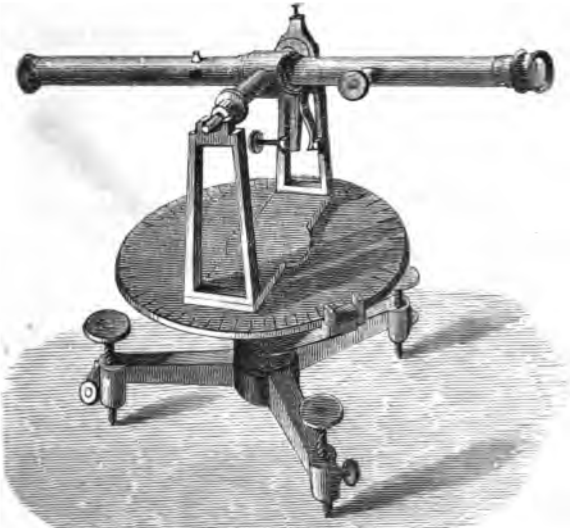


Fig. 2. Horiz. gestelltes Fernrohr.

beliebige Richtung im Horizont bringen. Befestigt man auf dem nicht beweglichen Theil des Instruments einen horizontalen Kreis, dessen Umfang in 360 Theile getheilt ist, und an der beweglichen Hülse einen Zeiger der auf die Theilung hinweist (Fig. 2) und der etwa auf Null zeigt, wenn das Fernrohr gegen den Ostpunkt gerichtet ist, so

weist der Zeiger auf 90, wenn das Fernrohr gegen Süden, auf 180, wenn es gegen Westen, auf 270 wenn es gegen Norden gerichtet ist; und man sieht leicht, wie man auf jede beliebige Richtung des Horizonts einstellen kann.

Nun machen wir das Instrument noch complicirter: statt das Fernrohr an der Hülse zu befestigen, wird zunächst eine horizontale Axe in zwei auf der Hülse feste Lager eingesetzt, so daß sie sich in diesen Lagern drehen kann, und das Fernrohr senkrecht auf dieser Axe befestigt (Fig. 3).

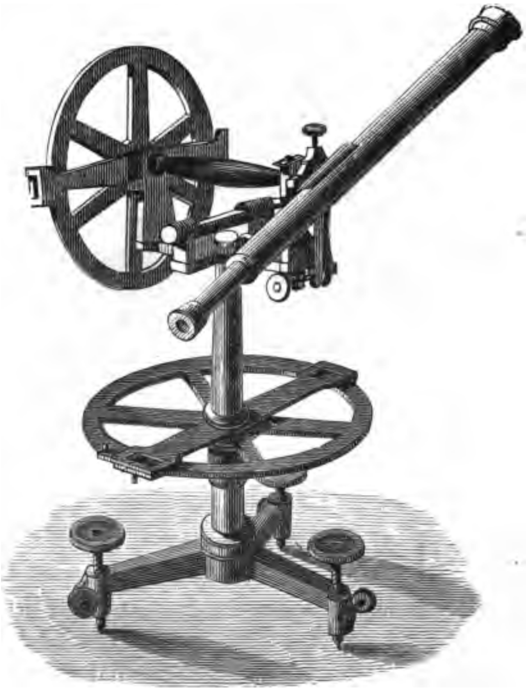


Fig. 3. Theodolith.

Jetzt kann man, wenn das Rohr in eine beliebige Richtung des Horizonts eingestellt ist, es noch weiter in jede beliebige Höhe einstellen: zu diesem Zweck ist senkrecht zu der horizontalen Axe an der Hülse ein zweiter getheilter Kreis angebracht, auf dem sich ein mit dem Fernrohr drehbarer Zeiger bewegt. Bei horizontaler Lage des Fernrohrs weist der Zeiger auf den Nullpunkt der Theilung, bei vertikaler auf 90 Grad und man kann nun auf jede beliebige Höhe einstellen. Ein solches Instrument mit Fernrohr und zwei getheilten Kreisen, einer vertikalen und einer horizontalen Drehaxe, heißt Theodolith; es dient dazu, durch Azimuth und Höhe eine Richtung zu bestimmen, oder bei bekanntem Azimuth und Höhe die Richtung aufzufinden.

Der Theodolith dient am einfachsten dazu, um sich an einem unbekannten Ort zu orientiren, wie es etwa ein Reisender in noch nicht erforschten Ländern machen wird oder derjenige, welcher an seinem Wohnort die Himmelsrichtungen etwas genauer kennen möchte, als der bloße Anblick des gestirnten Himmels oder die Richtungsstangen der Windfahnen erlauben. Das Sternbild des großen Bären oder das Siebengestirn enthält sieben helle Sterne, von welchen drei im Schwanze des Bären liegen, die vier andern ein unregelmäßiges Viereck bilden*); der Anschauung dieser sieben Sterne nach ist der Name „Wagen" entschieden passender, die drei Sterne stellen die Deichsel des Wagens vor, die vier den Wagenkasten. Verbindet man von diesen vier die von der Deichsel entferntesten

*) siehe Tafel I. ursa major.

unter sich und verlängert die Linie — in Beziehung auf den Wagen gesprochen nach unten —, so trifft man auf einen gleich hellen, ziemlich einzeln stehenden Stern, den Polarstern, welcher vom Wagen etwa so weit absteht, als dessen ganze Ausdehnung beträgt. Der Polarstern ändert seine Lage wenig, in keiner Weise auffallend für das bloße Auge, er beschreibt einen kleinen Kreis, dessen Halbmesser etwa drei Sonnenbreiten beträgt. Man richte das Fernrohr auf den Polarstern so, daß er im Kreuzungspunkt der Fäden erscheint: handelt es sich nicht um große Genauigkeit, so kann man diese Richtung als die zum Nordpol betrachten; wenn nicht, so stellt man das Fernrohr auf ihn ein, wenn er am weitesten nach rechts und wenn er am weitesten nach links sich zeigt, und nimmt das Mittel beider Einstellungen. Dreht man nun das Fernrohr um seine horizontale Axe, bis es horizontal steht, so hat man die Richtung Norden im Horizont. Von dieser aus erhält man durch Drehung um die vertikale Axe alle übrigen Richtungen des Horizonts; bei der Drehung um die horizontale dagegen beschreibt das Fernrohr einen Kreis am Himmel, der durch den Nordpunkt des Horizonts, dann durch den Nordpol, durch den Scheitelpunkt oder das Zenith, den höchsten Punkt des gedachten Himmelsgewölbes, und den Südpunkt des Horizonts geht. Dieser Kreis heißt der astronomische Meridian oder Meridian schlechtweg. Die einzige Beobachtung des Polarsterns macht es uns also mit Hilfe des Theodolithen möglich, von jedem beliebigen Himmelskörper Azimuth und Höhe zu bestimmen, oder wenn diese bekannt sind, ihn aufzufinden.

Zu allen diesen Bestimmungen wäre ein Fernrohr nicht nöthig, man könnte auch bloß eine Einrichtung anwenden, ähnlich den Visiren der Schußwaffen, wie das z. B. noch Tycho gethan hat, aber die Beobachtung mit dem Fernrohr ist bequemer und läßt sich mit viel größerer Genauigkeit durchführen. Die Vergrößerung hat zunächst mit der Bestimmung der Richtung Nichts zu thun, sie ist nur nöthig, wenn es sich um Dinge handelt, die man mit bloßen Augen nicht oder nicht deutlich genug sieht. Nimmt man ein feines Haar, hält es gegen den hellen Himmel und entfernt es immer mehr vom Auge, so sieht man es schließlich nicht mehr; entfernt man sich von einem aufgeschlagenen Buch, so gibt es immer eine Grenze, die man nicht überschreiten darf, wenn die einzelnen Buchstaben nicht verschwimmen, undeutlich und unleserlich werden sollen. Das gewöhnliche Auge kann bei gewöhnlicher Beleuchtung noch Einzelnheiten unterscheiden, welche unter einem Winkel von einer halben Minute, also 60mal so schmal als eine Sonnenbreite erscheinen. Bei günstiger Beleuchtung jedoch, besonders bei einem hellen Gegenstand auf dunkelm Grunde, z. B. einem Stern, oder bei einem dunkeln Gegenstand auf hellem Grunde, z. B. einem Blitzableiter, der sich vom hellen Himmel abhebt, geht die Erkennbarkeit viel weiter. Bleibt man bei der genannten durchschnittlichen Grenze von einer halben Minute, so wird zur Erkennung, d. h. zur Unterscheidung einzelner Punkte, welche weniger als eine halbe Minute von einander abzustehen scheinen, ein Fernrohr nöthig sein und die Vergrößerung desselben muß desto erheblicher sein, je näher die Punkte bei einander erscheinen. Ein sehr einfaches

Mittel, die Güte gewöhnlicher Fernröhren zu bestimmen ist die Beobachtung, auf welche Entfernung noch eine Druckschrift von bestimmter Größe deutlich und scharf erscheint: je beträchtlicher diese Entfernung, desto besser ist das Fernrohr, desto besser „trennt“ es, wie der Astronom sagt. Am Himmelsgewölbe gibt es nämlich eine große Zahl Sterne, welche dem bloßen Auge einfach erscheinen, durch ein Fernrohr aber in zwei oder auch mehr Lichtpunkte getrennt werden. Der mittlere Stern der Deichsel des Wagens wird schon in gewöhnlichen Fernröhren als doppelter gesehen, sehr gute Augen haben nicht einmal ein Fernrohr dazu nöthig. Ebenso ist der Polarstern doppelt, aber nur für bessere Fernröhren, hauptsächlich weil der Begleiter sehr klein ist. Die stärksten Vergrößerungen der größten Teleskope unserer Zeit gehen über Tausend hinaus, aber es ist äußerst selten, daß man von einer solchen Vergrößerung Gebrauch machen kann, weil dabei ganz heiterer Himmel und ruhige Luft vorausgesetzt ist. In unsern Gegenden sind die stärksten gebräuchlichen Vergrößerungen nur 200 bis 400fach, so daß man noch einzelne Punkte im Abstand von etwa $^1/_{10}$ Secunde als getrennt von einander sollte unterscheiden können: wenn dem nicht so ist, so kommt dies daher, daß die trennende Kraft eines Fernrohrs eben nicht blos von der Vergrößerung abhängt, sondern vor Allem von der Güte und Reinheit der Gläser und vom sorgfältigsten Schliff derselben, und dies um so mehr, je stärker die Vergrößerung ist, weil auch jeder Fehler vergrößert wird. So kommt es, daß Doppelsterne, die nur eine halbe Secunde von einander entfernt sind, schwierige Objecte für die aller-

besten Teleskope sind, und man sieht, daß eben die Doppelsterne das beste Mittel zur Prüfung der Fernröhren abgeben.

Man kann sich auch jetzt die Frage leicht beantworten, ob es möglich sei, auch nur auf dem nächsten Weltkörper, dem Mond, einzelne Gegenstände zu erkennen, die etwa unsern Gebäuden an Größe entsprechen: eine Frage, die praktisch wurde, als sich die Sage verbreitete, daß Herschel mit seinem Riesenteleskop Menschen und Gebäude auf dem Monde entdeckt habe. Nehmen wir ein im Sinne unseres irdischen Maßstabs großes Gebäude, etwa 150 Meter lang, so zeigt eine einfache Rechnung (da ein Meter in der Entfernung von 60 Meter etwa unter dem Winkel von einem Grad erscheint und da der Mond von der Erde um 384 Millionen Meter entfernt ist), daß ein solches Gebäude unter einem Winkel von etwa $1/_{12}$ Secunde erscheinen würde, also als ein Punkt, an welchem selbst bei tausendfacher Vergrößerung Einzelnheiten nicht zu erkennen wären, den wir daher auch nicht als Gebäude erkennen würden und von dem sich nicht entscheiden ließe, was er vorstellt. Die Fernröhren müssen noch beträchtlich verbessert werden, um solche Entdeckungen möglich zu machen.

3. Das Spectroskop.

Kinder erfreuen sich gern daran, durch ein Stück geschliffenes Glas nach hellen Gegenständen zu sehen, um die farbigen Säume, die das Glas hervorzaubert, zu bewundern und an den entstehenden Regenbogenfarben sich satt zu sehen. Dieses Spielzeug der Kinder ist in der Hand des Physikers ein wichtiges Instrument, um das Wesen der Farben zu erforschen, und Newton war es, welcher zuerst umfassende Versuche zu diesem Zwecke anstellte. Er kam zu dem noch heute geltenden Schlusse, daß das farblose Licht der Sonne oder eines hellglühenden Körpers eine unendliche Zahl farbiger Strahlen — roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violet mit allen möglichen zwischenliegenden Nuancen — enthalte. Jeder dieser farbigen Strahlen wird beim Uebergang von Luft in Glas von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, und jeder wieder in anderer Weise, die rothen am wenigsten, die folgenden in der oben genannten Reihenfolge immer mehr. So kommt es, daß durch ein Prisma (d. h. durch ein Glasstück mit zwei angeschliffenen ebenen Flächen, die am passendsten einen Winkel von etwa 60 Grad bilden) eine helle Linie auf dunklem Grund nicht mehr als helle Linie und nicht in der Richtung, nach welcher hin sie in Wirklichkeit liegt, sondern als ausgebreitete farbige Fläche, merklich verschoben gegen die wahre Richtung erscheint. Dieses Farbenbild hat den Namen „Spectrum" erhalten. Betrachtet man in gleicher Weise eine ausgedehntere Fläche eines leuchtenden Körpers, z. B. eine Kerzenflamme, so sind die Farben verwischt und un-

deutlich, weil die einzelnen breiten gefärbten Bilder über einander greifen, also nirgends eine reine Farbe erscheint. Nur die Säume sind deutlich gefärbt, roth und violet, weil jenseits beider keine weitere Farben mehr auftreten, also keine Mischung nach außen mehr möglich ist. Am reinsten und klarsten treten die Farben auf, wenn die leuchtende Linie sehr schmal gewählt wird.

Solche feine Lichtlinien erhält man, wenn man das Licht eines Körpers durch eine feine Spalte in einem dunkeln Schirm gehen läßt. Die Spalte muß parallel der brechenden Kante des Prisma, d. h. der Schnittlinie der zwei geschliffenen Flächen des Glases, sein, wenn die Erscheinung möglichst schön sich zeigen soll. Im Anfang unsers Jahrhunderts, als man in der Darstellung eines recht klaren, gleichmäßig dichten Glases die ersten Fortschritte gemacht hatte, fand Fraunhofer bei Untersuchung des Sonnenlichts in der oben beschriebenen Weise, daß dessen Spectrum eine Reihe dunkler, meist sehr feiner Linien zeigte, daß es also bestimmte Farbennuancen gebe, welche dem Sonnenlichte fehlen. Man nannte diese dunkeln Linien nach seinem Entdecker Fraunhofer'sche Linien. Aehnliche, aber anders vertheilte Linien zeigte das Licht einzelner Fixsterne, das in gleicher Weise untersucht wurde, während die Planeten die der Sonne angehörigen Linien aufwiesen, wie zu erwarten war, da sie ja von der Sonne entlehntes Licht uns zusenden. Dagegen zeigt eine Kerzenflamme, ein glühendes Metall u. s. w. keine Spur von dunkeln Linien, dieses Licht enthält also alle denkbaren Farbennuancen. Nach Fraunhofer waren es hauptsächlich Wollaston und Brewster, welche

die Betrachtung der Spectra verschieden leuchtender Körper fortsetzten, aber erst Kirchhoff und Bunsen brachten volles Licht und klaren Zusammenhang in alle betreffenden Erscheinungen und bahnten dadurch den Weg zu den Spectraluntersuchungen, welche heute bei den Himmelskörpern eine so große Rolle spielen.

Man verschaffe sich eine Bunsen'sche Gaslampe, d. h. eine Lampe, in welcher man Gas mit Luft gemischt verbrennen kann. Wird der Luftzutritt richtig regulirt, so erhält man eine nur ganz schwach leuchtende, bläuliche Flamme. Bringt man in diese Flamme irgend einen Stoff, der sich bei der Temperatur derselben verflüchtigt, so färbt sich die Flamme und die Art der Färbung ist charakteristisch für den betreffenden Stoff. Es ist dies eine Thatsache, die schon längst von unsern Feuerwerkern bei der Herstellung farbiger Lichter, von den Mineralogen bei ihren Löthrohrproben benützt wurde. Aber das Auge ist viel zu wenig empfindlich bei Beurtheilung der Farbennuancen, vollends bei Mischungen verschiedener Farben, um ein sicherer Führer bei der Beurtheilung zu sein. Bildet man dagegen das Spectrum des Stoffs, indem man das gefärbte Licht der Bunsen'schen Flamme durch eine feine Spalte gehen läßt und mit dem Prisma zerlegt, so erhält man nicht das ununterbrochene Spectrum der Kerzenflamme mit allen Farbennuancen, nicht das von dunkeln Linien durchzogene Spectrum des Sonnenlichts, sondern einzelne oder eine Reihe einzelner heller Linien. Natrondampf gibt nur eine sehr helle gelbe Linie, Lithiondampf eine intensiv rothe und eine orange, Kalk eine orange und grüne u. s. w., so daß, wer die Erscheinung

einmal kennt, sogleich angeben kann, welcher Stoff in der Flamme glüht; und sollte irgend ein Zweifel sein, so kann man das Spectrum mit einem Fernrohr beobachten, in welches durch eine der Flächen des Prisma das Spiegelbild einer feinen Theilung geworfen wird (Fig. 4).*)

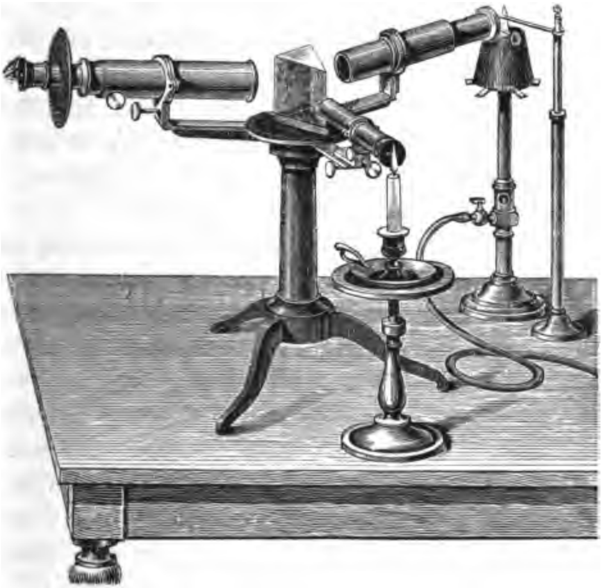


Fig. 4. Spectroskop.

Man kann jetzt angeben, an welcher Zahl der Theilung jede Linie auftritt und ist somit von dem Farbensinn des Auges ganz unabhängig. Leuchten mehrere Stoffe zu gleicher Zeit, so erscheinen alle Linien der einzelnen Stoffe, ungestört durch einander, so daß auch Mischungen auf die

*) Näheres s. Pisko, Das Licht. S. 333.

einzelnen Bestandtheile untersucht werden können. Reicht die Temperatur der Bunsen'schen Lampe nicht aus zum Verflüchtigen eines Körpers, so kann man den elektrischen Funken anwenden, z. B. bei den schweren Metallen, Eisen, Kupfer, Silber u. s. w. Man braucht ihn nur zwischen Drähten des zu untersuchenden Metalls überspringen zu lassen und ihn mit einem Prisma zu zerlegen; oder verflüchtigt man das Metall zwischen Kohlenspitzen durch den galvanischen Strom. Auch von Gasen kann man das Spectrum bilden, indem man Spuren derselben in vorher luftleer gemachte Röhren bringt — Geißler'sche Röhren — und den galvanischen Strom durchgehen läßt.

Kirchhoff hat gezeigt, in welchem Zusammenhang die Fraunhofer'schen Linien mit dem Gasspectrum stehen. Man lasse durch den Spalt in dem Fensterladen eines dunkeln Zimmers Sonnenlicht einfallen und zerlege es mit dem Prisma. Nun bringe man in den Weg des Sonnenlichts eine Lithionflamme: augenblicklich sieht man eine dunkle Linie weiter im Sonnenspectrum, und wenn man das Sonnenlicht absperrt, zeigt sich die helle Lithionlinie genau an derselben Stelle, wo vorher eine dunkle aufgetaucht war. Das Sonnenlicht verliert also, indem es durch die Lithionflamme hindurch geht, eben das Licht, welches die Lithionflamme ausstrahlt: die Lithionflamme verschluckt das ihrer Farbe entsprechende Licht und zerstreut es nach allen Seiten hin, so daß in der Richtung der Sonnenstrahlen weniger weitergeht, als bei Abwesenheit der Lithionflamme. Es wird die Stelle, die ohne Lithionflamme im Sonnenspectrum vollkommen hell erscheint, durch dieselbe in der Intensität geschwächt und erscheint

verhältnißmäßig dunkel. Daraus ist zu schließen, daß die Fraunhofer'schen Linien ihren Ursprung Dämpfen verdanken, welche zwischen der glühenden Sonne und unserem Auge, sei es in der Atmosphäre der Erde oder sonst wo sich befinden.

Die Untersuchung der Spectra der verschiedenen chemischen Elemente ist eine sehr mühsame, da insbesondere die Metalle hunderte von Linien zeigen (Eisen z. B. über 600) und dazu kommt noch, daß jedes dieser Spectra aufs Genaueste mit dem Sonnenspectrum verglichen werden muß, wenn man bei der großen Zahl der feinsten Linien ein Zusammenfallen zweier als sicher feststellen will. Es ist also klar, daß noch eine geraume Zeit vergehen wird, bis ein umfassendes Resultat gewonnen sein wird. Schon jetzt ist jedoch unzweifelhaft, daß die Eisenlinien, Titanlinien, Magnesium- und Natronlinien nebst andern mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen. Da aber alle diese Substanzen in unserer Atmosphäre nicht vorhanden sein können, ebenso wenig zwischen Erde und Sonne, weil nirgends die Temperatur hoch genug ist, um jene Dämpfe zu bilden, so bleibt Nichts übrig, als anzunehmen, die Sonne sei ein glühender Körper umgeben von einer Atmosphäre mit hoher Temperatur, in welcher sich jene Substanzen verflüchtigen können. In derselben Weise müssen wir auch den Fixsternen, wenn sie sonnenähnliche Spectra haben, besondere Atmosphären zuschreiben. Wenn es ferner Himmelskörper gibt, welche keine sonnenähnliche Spectra, sondern Gasspectra zeigen, so schließen wir, daß sie glühende Gasmassen enthalten; eine Reihe von Nebelflecken z. B. scheinen Anhäufungen von Stickstoff zu sein.

Wasserstoff kommt in großer Menge in der Höhe der Sonnenatmosphäre vor, er bildet die „Protuberanzen“ der Sonne; eine plötzliche heftige Wasserstoffentzündung hat auch bei dem Aufleuchten eines neuen Sterns in der Krone im Mai 1867 stattgefunden, denn die Wasserstofflinien waren in dessen Spectrum deutlich erkennbar.

Aber noch einer Hilfe des Spectroskops bei Erforschung des Himmelsraums und der Himmelskörper haben wir zu gedenken. Auge und Fernrohr geben bei entfernten Himmelskörpern, deren scheinbare Größe sich nicht messen läßt, keinen Anhaltspunkt dafür, ob sie gegen uns oder von uns weg sich bewegen; nur die seitliche Bewegung geben sie zu erkennen. Auch hier hat das Spectroskop einen ersten Anfang der Aushilfe gemacht. Wenn das Licht beim Uebergang aus einem Körper in einen andern, z. B. aus Luft in Glas, gebrochen wird, so ist der Grund davon der, daß es in der Luft rascher, im Glas langsamer sich bewegt. Da man es immer mit einem Büschel Lichtstrahlen zu thun hat, nie mit einem einzelnen, so vergleichen wir nach Dove die parallel ankommenden Strahlen mit einer Abtheilung Reiterei, welche auf ebenem Terrain in Front vorrückt, und auf eine Grenzlinie trifft, welche sie auf ein frisch umgeackertes Feld führt. Kommen an diese nicht zufälligerweise alle zugleich, sondern etwa der rechte Flügelmann zuerst, so wird dessen Pferd zuerst wegen des schlechten Terrains etwas langsamer vorrücken, dann das folgende u. s. w., bis der linke Flügelmann an der Grenzlinie angekommen ist. Der letzte hat nun einen beträchtlich größern Weg zurückgelegt, als der rechte Flügelmann, und wenn von jetzt an die Abtheilung wieder in Front

vorrückt, so hat sie zugleich ihre Richtung geändert, weil der linke Flügel rascher vorgerückt ist, also eine kleine Schwenkung stattgefunden hat. Je größer der Unterschied der Geschwindigkeit, desto größer die Schwenkung. Ganz in gleicher Weise ändert sich die Richtung der Fortschreitung des Lichtstrahlenbündels beim Uebergang von Luft in Glas, desto mehr, je verschiedener die Geschwindigkeit in Luft und Glas ist.

Wenn nun ein leuchtender Körper in Bewegung gegen die Erde oder von der Erde weg ist, so wird auch das von ihm ausgesendete Licht rascher oder langsamer zur Erde gelangen, als wenn der Körper in Ruhe wäre. Es wird aber im ersten Fall die Ablenkung durch das Prisma schwächer, im zweiten stärker sein, als beim ruhenden Körper. Freilich ist der Unterschied voraussichtlich sehr klein, da die Aenderung der Geschwindigkeit des ankommenden Lichts durch die Bewegung eines Himmelskörpers nur wenige Meilen im Allgemeinen beträgt, während die Geschwindigkeit selbst 40,000 Meilen ist. Um die kleinen Verschiebungen bestimmen zu können, hat Zöllner ein sogenanntes „Reversionsspectroskop" construirt, das wir wegen der hohen Bedeutung, die es für vollständige Erforschung der Bewegung der Himmelskörper hat, noch näher betrachten müssen. Das gewöhnliche Prisma hat das Unbequeme, daß der zu betrachtende Gegenstand nach einer andern Richtung aufgesucht werden muß, als die ist, nach der hin er sich wirklich befindet. Man hat deswegen mehrere Prismen so combinirt, daß das Licht immer noch zerstreut, in die einzelnen Farben zerlegt, aber — wenigstens für eine bestimmte Farbe — nicht

mehr abgelenkt wird. Sieht man durch ein solches combinirtes Prisma nach einer hellen Linie, so erkennt man in gleicher Richtung nach links und rechts ausgebreitet das Farbenspectrum. Man nehme an, Roth sei rechts, Violet links, und lege über das Prisma ein zweites gleiches aber in umgekehrter Lage, so fällt für dieses das Violet rechts und das Roth links; man hat zwei Spectra über einander mit entgegengesetzter Farbenfolge. Man nehme ferner an, es treffe z. B. eine Linie im Gelben für beide Spectra zusammen, während das obere das Roth rechts, das untere das Roth links hat, wenn man nach einer irdischen Lichtquelle oder nach der Sonne sieht. Betrachtet man mit dieser Prismencombination einen Himmelskörper, welcher sich von der Erde entfernt, so wird die Linie im einen Spectrum nach rechts, im andern nach links rücken, die zwei Linien fallen nicht mehr zusammen und je mehr sie sich trennen, desto größer ist die Geschwindigkeit des Himmelskörpers von der Erde weg. Ein einfaches Maß über den Betrag der Verschiebung ergibt sich durch Beobachtung von Planeten, deren Geschwindigkeit von der Erde weg oder zur Erde bekannt ist.

Es ist zu erwarten, daß in Kurzem Resultate von Beobachtungen mit diesem Instrument bekannt werden, wie wenigstens schon Einzelnes über die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Himmelskörper festgestellt ist: doch liegt es in der Natur der Sache, daß auf diesem Gebiete die Zukunft erst Sicheres bieten wird: das Feld ist unermeßlich und kaum zu bebauen begonnen.

II.

Die Fixsternwelt.

1. Bewegungen der Fixsterne.

Bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse vom Weltall sind wir berechtigt, mit freierem Blick, als das früher möglich war, in den Weltraum hinauszuschauen, gleich mit der Uebersicht des Ganzen zu beginnen und allmählich zu immer engern Kreisen bis auf unsere Erde herabzusteigen; wir haben nicht mehr nöthig, die Astronomie damit zu beginnen, daß wir nachweisen, die Erde sei eine Kugel, sie und nicht die Sterne bewegen sich u. s. w. All das fällt uns von selbst in den Schoß, wenn wir die für die Erde und auf der Erde bekannten Naturgesetze auf das Weltall anwenden und mit ihrer Hilfe und an der Hand des von der Erfahrung Gebotenen im Weltraum uns orientiren.

In Ruhe sein kann nur ein Körper, auf welchen gar keine Kräfte einwirken, oder einer, auf welchen Kräfte einwirken, die sich gegenseitig aufheben, die sich Gleichgewicht halten. Das erste ist unmöglich, da nach Newton's Gesetz der allgemeinen Anziehung jeder Körper auf jeden andern einen Einfluß ausübt und in Folge dessen ihn zu

sich heranzuziehen sucht: jeder Himmelskörper wird also von zahllosen Kräften in Anspruch genommen, da zahllose Körper im Weltraum vorhanden sind. Der zweite Fall aber ist vollkommen unwahrscheinlich; selbst wenn einen Augenblick alle auf einen Körper einwirkenden Kräfte sich gegenseitig aufheben würden, so müßten sie es schon im nächsten Augenblick nicht mehr thun, da wir von vielen Himmelskörpern erfahrungsmäßig wissen, daß sie sich bewegen, daß sich also ihre von der Entfetnung abhängige Anziehung beständig ändert. Kein Himmelskörper ist, nicht einmal für die kürzeste Zeit, gleichbleibenden Kräften ausgesetzt, für keinen können die einwirkenden Kräfte im Gleichgewicht bleiben, also müssen wir uns jeden in Bewegung denken: keiner kann ruhen.

Was auf der Erdoberfläche sich nicht bewegt, ruht auf einer Unterlage oder ist mit einem auf fester Unterlage ruhenden Körper verbunden. Jeder freie, sich selbst überlassene Körper fällt so lange gegen die Oberfläche der Erde, bis er eine Unterlage gefunden hat. Von dieser Erfahrung ausgehend sprach man, als man sich die Erde ruhend dachte, von einer Unterlage derselben, und als man sich die Sterne fest dachte, von einem Himmelsgewölbe, an dem dieselben befestigt seien. Man klammerte sich an diese nach unsern jetzigen Anschauungen kindischen Vorstellungen, weil ein Beispiel fortdauernder Bewegung, ähnlich der der Erde um die Sonne, auf der Erdoberfläche fehlte. Wer sich von der Richtigkeit der astronomischen Anschauung überzeugt, wird vor Allem dazu gedrängt durch die Unmöglichkeit, in anderer Art der Erfahrung zu genügen. Von Zeit zu Zeit, doch wie es scheint in immer

längern Perioden, treten Einzelne auf, welche die Bewegung der Erde leugnen oder eine neue Theorie derselben aufstellen; mit Recht werden solche Producte von den Astronomen ignorirt, da sie höchstens nur einzelne Thatsachen erklären, kein Gesammtbild der Himmelsbewegungen geben, wie das von den Astronomen jedes Jahr zum Voraus in den astronomischen Kalendern geschieht.

Es steht der Satz, daß kein Himmelskörper in Ruhe sei, im Widerspruch mit dem althergebrachten Namen „Fixsterne“ oder „feste Sterne“, sei es, daß diese Bezeichnung an einem Himmelsgewölbe befestigte oder im Raum feststehende Körper bedeuten soll. Es ist Thatsache, daß die Fixsterne ihre Lage nicht merklich ändern: das Siebengestirn*) hatte zu Homer's und Hesiod's Zeiten dieselbe charakteristische Gestalt wie noch heute; die Bezeichnung einiger Sternbilder nach ihrer geometrischen Form, wie das Trapez**), der Jakobsstab***), der Triangel****) und andere gilt noch heute in gleichem Sinn; alte Sternkarten zeigen keine andere Vertheilung der Sterne als heute, und eben wegen dieser Unveränderlichkeit hat man die Fixsterne in Sternbilder geordnet, um sie als Rahmen zu benützen, auf welchen die Lage von Himmelskörpern bezogen wurde, welche ihren Ort rasch ändern, wie die Sonne, der Mond, die Planeten und Kometen.

---

*) siehe Tafel I. die 7 mit den griechischen Buchstaben α, β, γ, δ, ε, ζ, η bezeichneten Sterne im großen Bären (ursa major).

**) siehe Tafel I. α, β, γ, δ im Pegasus.

***) siehe Tafel II. δ, ε, ζ im Orion.

****) siehe Tafel II. in der Nähe des Südpols (Triangulum).

Trotzdem beharren wir auf unserm Satz der allgemeinen Bewegung, müssen aber freilich zugeben, daß die Fixsterne eben nur sehr kleine Ortsveränderungen zeigen, weil ihre Entfernung von der Erde so beträchtlich ist. Der äußerste der Planeten, Neptun, wurde beobachtet, ehe man wußte, daß er ein Planet ist, er wurde nicht dafür angesehen, weil er sich unter den Fixsternen nicht merklich bewegte, nämlich in einer Stunde nur um etwa eine Secunde, also um eine nur mit sehr guten Instrumenten bestimmbare Größe. Der uns nächste Fixstern ist gewiß 7000 mal so weit entfernt: wenn er sich in Wirklichkeit mit gleicher Geschwindigkeit bewegt wie Neptun, so geht bei der 7000 fachen Entfernung die scheinbare Bewegung 7000 mal so langsam vor sich, seine Stellung ändert sich um eine Secunde erst in 7000 Stunden oder beiläufig einem Jahr. Also selbst bei dem nächsten Fixstern ist jahrelange genaue Beobachtung nöthig, wenn eine Bewegung desselben nachgewiesen werden soll; um so mehr bei den entfernteren und entferntesten, selbst wenn sie eine beträchtlich größere Geschwindigkeit haben als Neptun. Wie ein Schiff, das wir in weiter Ferne erblicken, still zu stehen scheint und nur bei längerer Beobachtung als bewegt erkannt wird, so scheinen uns die Fixsterne nur wegen ihrer großen Entfernung unbewegt. Ebendeßwegen ist die Thatsache der Bewegung der Fixsterne erst in der neuern Zeit festgestellt worden, nur gute Instrumente und sorgfältige Beobachter und nur immer wiederholte genaue Beobachtungen konnten zu diesem Ziele führen. Es sind erst hundert Jahre, daß Bradley in Greenwich den Grund zu solchen Untersuchungen durch Entwerfen eines Fixstern=

verzeichnisses gelegt hat, in welchem möglichst viele Sterne mit genauester Bezeichnung ihrer Lage aufgeführt wurden. Von allen diesen Sternen kennen wir also die Lage vor hundert Jahren und, wenn sie fortgesetzt beobachtet wurden, die Aenderung dieser Lage bis heute. Auf diesem Wege ist jetzt von mehr als dreitausend Sternen durch directe Messung eine Bewegung nachgewiesen. Die größten so bestimmten Ortsveränderungen betragen, wenn sie gleichmäßig in gleicher Richtung fortdauern würden, in einem Jahrhundert nur ein Drittel bis eine Hälfte der Sonnenbreite, so der Stern β in der Wasserschlange*) über 1000, α im Centauren**) über 700, 61 im Schwan über 500 Secunden — aber bei weitem die größte Zahl erreicht nicht den hundertsten Theil dieses Betrags, so daß ihre Bewegung noch gar nicht sicher bestimmt ist. Das letzte Hundert von Jahren hat eben nur hingereicht, die Thatsache festzustellen, daß die Fixsterne Ortsveränderungen zeigen, es hat hingereicht, um verschiedene Ursachen dieser Bewegungen aufzufinden, aber Jahrhunderte astronomischer Arbeit werden noch nöthig sein, um den Betrag und die Richtung der Ortsveränderung im Einzelnen festzustellen, und auch die Spectralanalyse wird, wie wir oben gesehen, noch ihre Arbeit dabei leisten müssen. Erst dann wird man daran denken können, ein System in die erforschten Bewegungen zu bringen und wenigstens für den unserm Sonnensystem nächsten Theil der Fixsternwelt die Art der Zusammensetzung und Bewegung festzustellen.

*) Tafel II. in der hydra, der dem Südpol nächste Stern.

**) Tafel II. in der Nähe des Südpols.

2. Entfernung der Fixsterne. Parallaxe.

Außer der durch eigene Bewegung hervorgerufenen Ortsveränderung haben die Fixsterne noch andere, scheinbare Ortsveränderungen, welche daher rühren, daß unser Standpunkt kein fester ist, sondern beständig wechselt. Wie die Gegenstände am Ufer des Flusses, auf dem wir fahren, sich gegen einander verschieben, so muß dies auch bei den Sternen der Fall sein, einmal weil wir uns mit der Erde täglich um ihre Axe drehen, dann weil wir uns mit der Erde in einem Jahre um die Sonne bewegen und endlich, weil das ganze Sonnensystem und wir mit ihm — im Raume fortschreitet.

Stellen wir uns in einen großen, hohen, runden Saal, an dessen Decke in der Mitte ein kleiner Stern angebracht sei, welchen wir rings an der Wand herumgehend mit einem kleinen Fernrohr betrachten. An jeder Stelle, wo wir uns befinden, ist die Richtung des Fernrohrs eine andere: die Neigung allerdings bleibt immer gleich, wir müssen immer gleich hoch hinaufsehen, aber die Richtung, nach der wir sehen, ist immer wieder eine andere, bald nach Nord, bald nach Ost, bald nach Süd u. s. w. Denken wir uns noch an der Wand des Saals (siehe Fig. 5) diese Richtungen Nord u. s. w. angeschrieben, so sieht man leicht, daß der in Nord stehende Beobachter sich gegen Süden wenden muß, um den Stern zu sehen, der in Süden stehende dagegen nach Norden, also gerade nach der entgegengesetzten Seite. An zwei solchen entgegengesetzten Standpunkten werden also auch die zwei Richtungen am verschiedensten sein, oder den

größten Winkel bilden. Noch in anderer Weise läßt sich dies ausdrücken: Denken wir uns an jedem der zwei



Fig. 5.

Standpunkte die vertikale Linie gezogen, so weicht die Richtung zum Stern von dieser am ersten nach Süden,

am zweiten nach Norden je um den gleichen Winkel ab. Ist die Decke des Saals sehr hoch, so ist der Unterschied offenbar kleiner als bei niedriger Decke, und man sieht leicht, daß man aus der Größe jenes Winkels auf die Höhe des Saals schließen kann.

Stellen wir uns nun unter dem Umkreis des Saals die Erdbahn, unter der Decke das scheinbare Himmelsgewölbe vor, so ist klar, daß auch jetzt an jeder andern Stelle der Erdbahn das Fernrohr, das wir nach einem bestimmten Stern richten, eine andere Lage haben muß. Dieser Gedankengang wurde angeregt, als das Kopernikanische Weltsystem und mit ihm die Bewegung der Erde um die Sonne seinen Eingang in die wissenschaftliche Welt fand. Man betrachtete damals noch die Fixsterne als unveränderlich in ihrer Lage und sagte sich, daß unter Voraussetzung der Richtigkeit des neuen Weltsystems eine solche scheinbare Bewegung der Fixsterne stattfinden müsse, insbesondere müssen zwei um ein Halbjahr aus einander liegende Beobachtungen desselben Fixsterns besonders günstig sein, um einen Unterschied in der Lage herauszufinden. Aber es gelang nicht, auch nur die kleinste meßbare Verschiebung nachzuweisen. Man hatte damals noch keine Vorstellung von der enormen Entfernung der Fixsterne von der Erde, jetzt können wir uns leicht Rechenschaft geben, warum der Versuch mißlingen mußte. Selbst der nächste Fixstern ist immer noch 200,000 mal so weit von uns entfernt als die Erde von der Sonne. In unserm obigen Beispiel müßte also die Höhe der Decke 100,000 mal so groß sein, als der Durchmesser des Saals, er müßte die Form einer langen Röhre haben, in welcher die Gesichtslinien von

irgend einem Punkt des einen Endes zu einem bestimmten Punkt des andern sich in der Richtung höchstens um zwei Secunden unterscheiden. Es ist unmöglich, ein Instrument so solid aufzustellen, daß man sicher wäre, seine Lage habe sich im Lauf eines Halbjahrs nicht um so viel geändert: in der Regel werden die nie ganz zu vermeidenden Erschütterungen des Erdbodens und insbesondere die unausbleiblichen Temperaturänderungen die Lage des Fernrohrs um beträchtlich mehr ändern, als jener Unterschied beträgt, und eine Bestimmung des durch solche Veranlassungen entstehenden Fehlers ist unthunlich, da die Aenderung in ganz unregelmäßiger Weise vor sich geht. Trotz dieser Schwierigkeit ist es aber doch in unserm Jahrhundert gelungen, wenigstens an einigen Sternen eine scheinbare Verschiebung in Folge der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne nachzuweisen.

Nicht Jedermann weiß, daß die zwei Bilder, welche in einem Stereoskop zu einem Totaleindruck vereinigt werden, nicht ganz gleich sind; der bloße Anblick zeigt keine merkliche Verschiedenheit, mit dem Cirkel in der Hand läßt sich aber leicht abmessen, daß der Abstand zweier Punkte des einen Bilds ein anderer ist als der der entsprechenden Punkte des andern. Am leichtesten zeigt sich der Unterschied bei einem landschaftlichen Bilde, das einen weit zurückliegenden Hintergrund hat. Man wähle zwei scharf markirte Punkte, einen ganz im Hintergrund, einen im Vordergrund, das Anlegen des Cirkels zeigt einen deutlichen Unterschied in der Entfernung beider Punkte auf dem einen und auf dem andern Bild. Wählt man dagegen beide Punkte im Hintergrund oder beide im Vorder=

grund, so zeigt sich keine Verschiedenheit. Die zwei Bilder sind von verschiedenen Standpunkten aufgenommen, entsprechend der Verschiedenheit der Lage unserer Augen*), und wir sehen also, daß die Aenderung des Standpunkts auch eine Aenderung des Abstandes zweier Punkte hervorruft, wenn sie verschiedene Entfernung vom Beobachter haben, nicht aber oder wenigstens nicht merklich, wenn sie gleich weit entfernt sind. Je größer der Unterschied in der Entfernung, desto auffallender ist die Aenderung des scheinbaren Abstands bei wechselndem Standpunkt. Ein fernes Gebirgspanorama ändert sich kaum, wenn man um einige tausend Fuß hin- oder hergeht, sehr rasch aber verschiebt sich dabei der Mittelgrund, und noch mehr der Vordergrund gegen die einzelnen Spitzen des Gebirges. Nimmt man nun als landschaftliches Bild den Sternenhimmel, so wird der Abstand zweier Sterne im Lauf eines Jahrs ziemlich sich ändern können, wenn der eine uns nahe, der andere sehr entfernt ist. Auf große Entfernung eines Sterns dürfen wir aber im Allgemeinen schließen, wenn er sehr lichtschwach ist, nahe Sterne werden eher durch große Lichtstärke sich auszeichnen. Trifft es sich, daß man zwei solche Sterne, einen entfernten und einen nahen, zugleich im Fernrohr sieht, so ist kein für ein Halbjahr feststehendes Instrument nöthig, um auf ihre Entfernung zu schließen, man braucht nur zweimal, am Anfang und Ende eines Halbjahrs, den gegenseitigen Abstand zu bestimmen, die wirkliche Lage braucht durchaus nicht bekannt zu sein. Ist der eine der Sterne sehr weit ent-

*) Näheres s. Pisko, Licht und Farbe. S. 211.

fernt, so kann man seine Lage geradewegs als unveränderlich betrachten, da im Verhältniß zu seiner Entfernung die Aenderung unseres Standpunkts ganz unbedeutend ist: die ganze beobachtete Verschiebung kommt dann auf Rechnung des andern, nähern Sterns. Man sieht, wie unter dieser Voraussetzung die Entfernung des letztern sich einfach bestimmt.

Durch ähnliche Betrachtungen wurde Herschel dazu geführt, diese neue Methode zur Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns vorzuschlagen. Man bezeichnete die scheinbare Verschiebung mit dem Namen „Parallaxe“, fand es aber einfacher, darunter die Verschiebung zu verstehen, welche hervorgebracht würde, wenn ein Beobachter von der Erde plötzlich auf die Sonne versetzt würde, eine Verschiebung, die offenbar halb so groß ist, als die im Lauf eines halben Jahrs auf der Erde beobachtete. Bessel führte den ersten Versuch der Anwendung der neuen Methode mit dem Stern Nr. 61 im Schwane*) aus und fand seine Parallaxe zu $^1/_3$ Secunde, woraus folgt, daß dieser Stern 600,000mal so weit von der Sonne entfernt, als die Erde von der Sonne, d. h. 12 Billionen Meilen. Bessel's gelungener Versuch hatte eine Anzahl weiterer Bestimmungen zur Folge und es gibt jetzt von 9 Sternen ziemlich sichere Bestimmungen ihrer Parallaxen. Am größten ist sie bei dem hellsten Stern im Centauren auf der südlichen Halbkugel des Himmels (in Europa unsichtbar), erreicht jedoch noch keine Secunde. Es ist dies also wahrscheinlich der uns

*) Tafel I. Rectascension XXI, Declination 38°.

nächste Fixstern, 220,000 Sonnenweiten von uns entfernt, 7,000mal so weit als der äußerste Planet Neptun. Der in der Entfernung nächst folgende ist schon etwa dreimal so weit entfernt, es ist der Stern im Schwan, dessen Entfernung Bessel zuerst bestimmte. Eine Uebersicht über Lage und Entfernung der Sterne, deren Entfernung bekannt ist, soll das Stereoskop (Tafel V.) geben.*)

So gut die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne eine Verschiebung der Sterne hervorbringt, so gewiß muß das auch bei der täglichen Bewegung der Fall sein, aber während bei jener die Aenderung des Standpunkts 40 Millionen Meilen beträgt, erreicht sie bei dieser keine 1800 Meilen, so daß sich unmittelbar ergibt, daß die Parallaxe der Fixsterne in Folge der täglichen Axendrehung der Erde vorerst jedenfalls nicht beobachtbar ist.

Nun bleibt aber noch die dritte Bewegung, an der wir mit der Erde theilnehmen, die dem ganzen Sonnensystem gemeinsame, mit welcher die Sonne im Raum vorwärtsschreitet. Wenn die Sonne eine solche merkbare Bewegung hat, — daß sie nicht in Ruhe sein kann, haben wir schon oben gesehen — so müssen die Sterne, denen wir uns nähern, aus einander zu rücken scheinen, die auf der entgegengesetzten Seite, von denen wir uns entfernen,

*) Man schneide die Tafel heraus, klebe sie auf Carton und durchsteche sie mit einer Nadel in den mit Zahlen bezeichneten Punkten. Bringt man sie in das Stereoskop und betrachtet sie im durchgehenden Licht mit schwacher Beleuchtung von vorn, so sieht man die Vertheilung der Sterne: α centauri, 61 cygni, 34 Groombridge, Sirius, 1830 Groombridge, ι großer Bär, Arctur, Wega und Polarstern, der Reihe nach mit 1 bis 9 bezeichnet.

müssen, sich nähern, gerade so wie die Bäume einer Allee, welche wir hinter uns lassen. Es hat freilich nach dem Frühern jeder Stern seine eigene Bewegung, bald nach dieser, bald nach jener Richtung, und es scheint demnach kaum möglich, eine dazu kommende scheinbare Bewegung, die sich mit jener zu einer vereinigt, herauszufinden. Nimmt man jedoch eine große Zahl von Sternen zusammen, deren Bewegung nach Größe und Richtung bestimmt ist und berechnet einen Durchschnittswerth ihrer Bewegungen, so ist sehr wahrscheinlich, daß dieser sehr klein ist, wenn alle möglichen Bewegungen mit den verschiedensten Richtungen ohne Gesetz vorkommen; was aber allen Sternen gemeinsam ist, kann natürlich in einem Durchschnittswerth nicht verschwinden, sondern wird sich in der Art geltend machen, daß jener Mittelwerth eine ganz bestimmte Richtung anzeigt, und ist eine solche Bewegung allen Sternen gemein, so kann sie nur scheinbar sein, von der Bewegung der Sonne herrühren. Schon Herschel hat nach dem Punkt am Himmel gesucht, auf welchen die Sonne zugeht und als solchen das Sternbild des Herkules bestimmt; die Untersuchungen von Argelander haben dieses Resultat bestätigt. Sehr bemerkenswerth ist, daß aus einer Reihe ganz anderer Sterne, als Argelander benützte, hauptsächlich aus Sternen der südlichen Halbkugel, Galloway zu demselben Resultat kam. Es ist dies von um so größerem Interesse, da in der Natur einer solchen Bestimmung manches Unzuverlässige liegt. Wenn man im September oder October in der Abenddämmerung gegen Süden blickt, erkennt man, noch ehe es ganz Nacht ist, drei helle Sterne, die hellsten der Sternbilder Leyer,

Schwan und Adler, (daher alle mit α bezeichnet, siehe Tafel I.) die ein großes gleichschenkliges Dreieck bilden. Die Spitze des Dreiecks bildet Atair im Adler, er steht am nächsten gegen den Horizont, während die zwei andern in der Nähe des Zeniths sind, Wega in der Leyer und weiter gegen Osten Deneb im Schwan. Verbindet man Deneb durch eine Linie mit Wega und verlängert diese ungefähr um ihre eigene Länge, so hat man den Punkt, nach welchem sich die Sonne bewegt.

Spätern Zeiten bleibt es vorbehalten außer der festgestellten Richtung auch die Geschwindigkeit dieser Sonnenbewegung zu bestimmen*), und dann wird es möglich sein, auch von solchen Sternen, deren Parallaxe in Folge der jährlichen Bewegung der Erde zu klein ist, als daß sie beobachtet werden könnte, ihre Entfernung von der Erde zu bestimmen, da die Aenderung unseres Standpunkts in Folge der Bewegung der Sonne und damit des ganzen Sonnensystems im Lauf der Jahre gewiß beträchtlicher sein wird, als die durch die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne hervorgebrachte.

---

3. Aberration.

Außer der eigenen Bewegung der Fixsterne und der scheinbaren in Folge der Verschiedenheit des Standpunkts,

*) Untersuchungen von O. Struve und Airy haben es wahrscheinlich gemacht, daß jene Geschwindigkeit derjenigen ähnlich ist, mit welcher sich die Planeten in ihren Bahnen bewegen, also nur wenige Meilen beträgt.

von dem wir sie betrachten, haben dieselben noch eine weitere scheinbare Bewegung, daher rührend, daß das Licht eine bestimmte Zeit braucht, bis es von ihnen bis zu uns gelangt.

Der dänische Astronom Römer war es, welcher vor 200 Jahren zum erstenmal den Satz aussprach, daß das Licht einen Raum nicht momentan zurücklege, daß es eine bestimmte, wenn auch kleine Zeit dazu brauche und daß demnach alle Himmelserscheinungen später, als sie sich ereignen, von uns wahrgenommen werden. Er hatte beobachtet, daß die Verfinsterungen der Jupitertrabanten sich verspäten, so lange Jupiter sich von der Erde entfernt, dagegen immer früher eintreten, wenn er sich der Erde nähert. Von den vier Monden, welche Jupiter hat, werden die zwei ihm nächsten bei jedem Umlauf verfinstert, und haben Bahnen, die sich von der Kreisform nicht unterscheiden lassen. Würde also Jupiter sich gleichförmig bewegen, so müßten die Verfinsterungen immer in genau gleichen Zwischenräumen auf einander folgen. Das ist nun allerdings nicht der Fall, Jupiter bewegt sich mit veränderlicher Geschwindigkeit, aber ihre Aenderung ist bekannt und man kann darnach doch berechnen, wann die einzelnen Verfinsterungen eintreten müssen: Die ausgeführte Rechnung stimmte mit der Beobachtung, wenn Jupiter von Sonne und Erde gleich weit entfernt war, dagegen traten die Finsternisse 8¼ Minuten zu spät ein, wenn die Sonne zwischen Erde und Jupiter stand, und um eben so viel zu früh, wenn die Erde zwischen Sonne und Jupiter sich befand. War die nicht augenblickliche Fortpflanzung des Lichts Schuld an diesem Zeitunterschied

— und ein anderer Grund ließ sich nicht wohl denken —, so mußten also die zwanzig Millionen Meilen, um welche die Erde im ersten Fall dem Jupiter näher, im zweiten von ihm entfernter war, von dem Licht in 8¼ Minuten zurückgelegt werden, somit in einer Secunde etwa 40,000 Meilen, und so groß mußte die Geschwindigkeit des Lichts sein. Das war freilich eine enorme Geschwindigkeit, die alle damals bekannten viele tausendmal übertraf: erst in unserer Zeit hat das Licht eine ihr ebenbürtige Schwester in der Elektricität gefunden, die sich in dem Telegraphendraht fortpflanzt. Bei den kleinen Entfernungen auf der Erde ist es unmöglich eine directe Folge der Verzögerung eines Lichteindrucks nachzuweisen, nur überaus künstliche Mittel haben es in den letzten Jahrzehnten möglich gemacht, sie durch ein Experiment nicht nur zu zeigen, sondern auch zu messen, und wir werden später Gelegenheit haben, darauf zurückzukommen. Bei den ungeheuren Entfernungen der Fixsterne dagegen gewann sie eine weitgreifende, aus den einfachsten Schlüssen sich ergebende Bedeutung.

Da der uns nächste Fixstern immer noch 200,000mal so weit von der Erde entfernt ist, als diese von der Sonne, und da das Licht der Sonne bis zur Erde 8¼ Minuten braucht, so dauert es über drei Jahre bis es von jenem Fixstern bis zu uns gelangt. Das Licht des Polarsterns braucht bis zu uns schon beinahe 33 Jahre, und doch gehört seine Entfernung noch zu den durch die jährliche Parallaxe bestimmbaren, also zu den kleinsten uns bekannten; bei all den Sternen, deren Entfernung bisher gar nicht bestimmbar war, muß es sich also schon um hunderte

von Jahren handeln, und wie viele mag es geben, deren Licht erst nach Tausenden und Millionen von Jahren zu uns gelangt, wenn wir nicht etwa annehmen wollen, jenseits einer bestimmten Entfernung von unserm Sonnensystem gebe es überhaupt keine Sterne mehr. Was wir am Himmel sehen, ist nichts Gleichzeitiges, es sind nur gleichzeitige Eindrücke auf unser Auge, welche von Erscheinungen aus den verschiedensten Zeiten herrühren, wir sehen die Vergangenheit, die um so weiter zurückliegt, je weiter der Fixstern entfernt ist. Wenn heute ein Stern neu entsteht, so wird er je nach seiner Entfernung von uns erst in Jahren, Jahrzehnten oder Jahrhunderten gesehen werden. Wenn das ganze Weltall in einem Zeitmoment geschaffen wurde, so mußte die Zahl der sichtbaren Sterne in geschichtlichen Zeiten immer größer geworden sein. Es zeigten sich den Menschen zuerst die helleren, da im Allgemeinen die nächsten uns mehr Licht zusenden werden, dann erst erschienen die schwächeren und mit der Zeit mußten immer mehr von immer geringerer Helligkeit auftauchen. Läßt man im großen Ganzen das Gesetz gelten, daß die schwächsten Sterne die entferntesten sind, so läßt sich als wahrscheinlich bezeichnen, daß wir mit unsern besten Fernröhren, welche Sterne von sechszehnter Größe und unter Umständen noch schwächere zeigen, bis in eine Entfernung dringen, von welcher das Licht bis zu uns 9000 Jahre braucht. Die Entfernung der Milchstraße wird in ähnlicher Weise auf etwa 5000 Jahre Lichtzeit geschätzt. Eine gleichzeitige Erschaffung aller Himmelskörper wäre also nur denkbar, wenn sie schon vor mehr als 9000 Jahren stattgefunden hätte, und wenn die

gewöhnliche Zeitrechnung von Erschaffung der Welt richtig wäre, so könnte die Milchstraße erst nach Christi Geburt sichtbar geworden sein, was den geschichtlichen Ueberlieferungen keineswegs entspricht. Wenn man annimmt, daß das beste menschliche Auge noch Sterne siebenter Größe unterscheiden kann, so dringt es im Raum bis zu einer Entfernung vor, welche einer Lichtzeit von 150 Jahren etwa entspricht. In den 200 Jahren, seit der Mensch das Fernrohr handhabt, hat er diese Entfernung auf das 60 fache, die eben erwähnten 9000 Jahre Lichtzeit gebracht. In dieser Zeit hat jedes bessere Fernrohr wieder neue Objecte gezeigt, lichtschwächere, die für die frühern weniger guten Instrumente unsichtbar waren. Sollte diese Erfahrung, die bisher durchweg gegolten hat, einmal aufhören, sollte ein besseres Fernrohr keine weitern lichtschwachen Sterne zeigen, als sein Vorgänger in Beziehung auf Güte, dann wäre der Beweis geliefert, entweder daß jenseits einer bestimmten Grenze keine Sterne mehr sind, oder daß die Himmelskörper ihr Dasein einem einzigen Schöpfungsact danken, der aber freilich gewiß 10,000 Jahre hinter uns liegen würde. Man sieht darnach, daß uns die Geschwindigkeit des Lichts eine Handhabe gibt zu der Behauptung, daß das uns sichtbare Fixsternsystem wenigstens schon vor etwa 10,000 Jahren bestanden hat.

Nachdem die Thatsache festgestellt war, daß das Licht zu seiner Fortpflanzung Zeit braucht, mußte bald die Erwägung nachfolgen, daß dann kein Himmelskörper, der in Bewegung ist, und selbst nicht ein ruhender Körper, wenn es einen solchen gäbe, von einem in Bewegung begriffenen Standpunkt da gesehen werden kann, wo er sich im

Augenblick der Beobachtung wirklich befindet. Denn bis das Licht zum Beobachter gelangt, hat entweder der bewegte Himmelskörper oder der sich ändernde Standpunkt seine Lage gewechselt, oder auch beide.

Wir betrachten zunächst den Fall, daß der beobachtete Körper als unbewegt sich betrachten läßt, wie das bei den Fixsternen nahezu der Fall ist. Die Lichtstrahlen gehen von ihm nach allen Seiten hin, unter ihnen ist einer, welcher im jetzigen Augenblick auf das Auge des Beobachters zugeht, bis er aber so weit gelangen würde, hat sich der Standpunkt des Beobachters bereits geändert. Gelangt dagegen ein Strahl wirklich in das Auge, so ist er von dem Körper aus nicht gegen die damalige Lage der Erde hin gegangen, sondern nach einer, die die Erde erst jetzt einnimmt nach einer Zeit, welche genau gleich ist der Zeit, die das Licht von dem Körper zur Erde braucht. Denken wir uns die Sonne als fest, und erinnern wir uns, daß das Licht von ihr zur Erde 8¼ Minuten braucht, so folgt, weil in dieser Zeit die Erde in ihrer Bahn über 2000 Meilen zurücklegt, daß der Lichtstrahl, der die Erde treffen soll, nicht nach demjenigen Theil der Erdbahn gerichtet sein kann, wo eben jetzt die Erde ist, sondern nach einem 2000 Meilen vorwärts gelegenen Punkt gehen muß. Stellen wir dann ein Fernrohr auf, um diesen Lichtstrahl aufzufangen, so ergibt sich leicht, daß dieses bei ruhender Erde eine andere Richtung haben würde, als bei der bewegten. Im ersten Fall hätten wir es einfach in die Richtung des ankommenden Strahls zu stellen, damit er durch Objectiv und Ocular gehe, im zweiten Fall ist zu berücksichtigen, daß wenn der Strahl durch das Objectiv

gegangen ist und nun im Fernrohr sich weiter fortpflanzt, eine wenn auch sehr kleine Zeit vergeht, bis er das Ocular erreicht. In dieser Zeit hat aber die Erdbewegung das Ocular verschoben, es kann also der Strahl nicht durch, wenn das Fernrohr mit ihm gleiche Richtung hat. Es muß dies vielmehr so gestellt werden, daß das Ocular im Sinn der Erdbewegung um so viel gegen das Objectiv zurückliegt, als die Erde sich vorwärts bewegt, während das Licht vom Objectiv zum Ocular gelangt.

Man kann leicht folgenden Versuch anstellen: ein Rohr werde vertikal festgehalten und eine kleine Kugel innerhalb am obern Ende fallen gelassen. Die Kugel fällt durch das Rohr, ohne es zu berühren, wenn es in Ruhe ist; wird aber sogleich gegen seine innere Wand anstoßen, wenn man es während des Falls seitlich bewegt. Gibt man jedoch dem Rohre eine passende Neigung, die man durch Probiren herausfinden kann, so ist es möglich, daß die Kugel auch ohne anzustoßen durch das bewegte Rohr fällt. Verschiebt man beispielsweise das Rohr horizontal, so daß seine Lage der ursprünglichen parallel bleibt, so muß das obere Ende im Sinn der Verschiebung vorwärts geneigt werden, so stark, daß das untere Ende durch die Bewegung in der Zeit, welche die Kugel zum Fallen durch das Rohr braucht, gerade auf die Vertikale zu liegen kommt, längs welcher die Kugel fällt. Je größer die Geschwindigkeit der Kugel ist, desto schwächer, je größer die des Rohres, desto stärker muß das Rohr geneigt sein. Wenden wir dies auf die Bewegung des Lichts durch ein Fernrohr an und bedenken, daß die Geschwindigkeit des Lichts 10,000 mal so groß ist, als die der Erde, so ergibt sich, daß die

Neigung des Fernrohrs gegen die wahre Richtung nur sehr klein ist. Ferner folgt, da das Licht gleichförmig sich bewegt, daß die Neigung jedes Fernrohrs, sei es kürzer oder länger, die gleiche ist, da z. B. bei dreifacher Länge die Durchgangszeit dreimal so groß, also auch das Ocular dreimal so weit zurückliegen muß, als bei einfacher. Die größte Neigung, also die größte scheinbare Verschiebung eines Sterns wird eintreten, wenn die Bewegung der Erde senkrecht zur Richtung gegen den Stern vor sich geht, gar keine Neigung und also keine Verschiebung findet statt, wenn sich die Erde direct gegen den Stern oder von dem Stern weg bewegt. Die größte Verschiebung beträgt nur 20 Secunden oder den 90sten Theil der Sonnenbreite.

Bradley war der erste, welcher eine solche Verschiebung, oder, wie der Astronom sie nennt, Aberration der Sterne beobachtete, als er die Parallaxe bestimmen wollte. Versetzen wir uns wieder in den hohen, runden Saal, den wir bei der Parallaxe zur Vereinfachung der Vorstellung benützt haben.*) Die Folge der Parallaxe wäre, daß wir den Stern gegen Süden verschoben sehen würden, wenn wir im nördlichsten Punkt des Saals uns befinden, die Folge der Aberration dagegen ist, daß der Stern im Sinn der augenblicklichen Bewegung verschoben ist; also wenn wir in der Richtung Nord, West, Süd, Ost im Saal herumgehen, so erscheint am nördlichsten Punkt, wo unsere Bewegung westlich gerichtet ist, der Stern nach Westen verschoben. Man sieht darnach, daß

*) S. 37, Fig. 5.

eine Verwechslung der zwei Erscheinungen nicht möglich ist, da sie nach verschiedener Richtung wirken. Ganz ähnlich aber sind beide darin, daß der Stern eine kleine kreisförmige Bahn am Himmel zu beschreiben scheint, denn er erscheint immer gegen die wahre Lage verschoben und jeden Augenblick nach einer andern Richtung verschoben, bei der Parallaxe in der Richtung von der Erde zur Sonne, bei der Aberration in der Richtung, in der sich die Erde bewegt, also nahe senkrecht zur vorhergehenden.

Befindet sich der Stern nicht an der Decke des Saals oder, um zur Wirklichkeit zurückzukehren, nicht senkrecht über der Erdbahn, sondern z. B. in der Erweiterung der Erdbahn, so gibt es eine Zeit im Jahr, wo die Erde gerade auf ihn zugeht, wo er also an seinem wahren Ort erscheint, nach einem Vierteljahr bewegt sich die Erde senkrecht in der Richtung zu ihm, er ist am meisten verschoben, bleibt aber immer in der Erdbahn; wieder nach einem Vierteljahr entfernt sich die Erde gerade von ihm, er erscheint wieder in der wahren Lage, um nach einem weitern Vierteljahr abermals am meisten verschoben zu erscheinen, aber in entgegengesetzter Richtung als nach dem ersten Vierteljahr, weil die Richtung der Erdbewegung die entgegengesetzte ist. Der Stern scheint also auf einer kleinen geraden Linie in der Erdbahn hin- und herzugehen. Sterne, die weder senkrecht über der Erdbahn, noch in der Erdbahn liegen, bilden den Uebergang von dem kleinen Kreise zu der kurzen geradlinigen Strecke: je nachdem sie mehr oder weniger von der Erdbahn entfernt erscheinen, beschreiben sie mehr oder weniger gedrückte Kreise, d. h. Ellipsen, die mehr oder weniger flach sind.

Außer der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne muß auch die tägliche Umdrehung um die Axe eine Aberration hervorbringen. Allerdings wird sie beträchtlich kleiner sein, weil die größte in Folge der Axendrehung auf der Erde vorkommende Bewegung nur den 60sten Theil von der Geschwindigkeit der jährlichen Bewegung besitzt, nichts desto weniger wird auch sie von den Astronomen in Rechnung gezogen. Und endlich muß auch die dritte Bewegung der Erde, die sie mit dem ganzen Sonnensystem gemein hat, eine Aberration hervorbringen. Zu ihrer Bestimmung müßte Richtung und Größe der Sonnenbewegung bekannt sein, die erste ist bekannt, aber die zweite nicht. In der Nähe des Punktes, gegen welchen hin die Sonne sich bewegt (S. 31), erscheinen uns die Sterne nicht verschoben in Folge der Sonnenbewegung, wohl aber in größerer Entfernung und am meisten in dem großen Kreise am Himmel, dessen Pol jener Punkt ist, d. h. an all den Stellen, welche 90 Grad von jenem Punkt entfernt sind. Aber die Größe der Verschiebung ist noch unbekannt, erst Jahrhunderte lang fortgesetzte Beobachtungen werden uns einigen Aufschluß über die Bahn der Sonne im Raum geben und erst dann wird man eine der Bewegung in dieser Bahn entsprechende Aberration aller Sterne nachweisen können.

Wir haben bisher die Erscheinungen der Aberration für den Fall betrachtet, daß die von uns beobachteten Himmelskörper im Raume fest stehen, viel complicirter und in den meisten Fällen gar nicht bestimmbar sind die Erscheinungen, wenn wir auf die Bewegungen der Himmelskörper noch Rücksicht nehmen. Wir kennen diese

vollständig nur für die Körper unseres Sonnensystems, für die Planeten mit ihren Trabanten und einige Kometen, so daß nur bei ihnen die Wirkung der Lichtgeschwindigkeit vollständig sich berechnen läßt; sie hängt in diesem Fall zum Theil von der Bewegung des Beobachters, zum Theil von der des beobachteten Körpers ab, und hat den Namen der Lichtgleichung erhalten. Wenn zwei Körper ganz beliebig sich bewegen, so läßt sich der Vorgang in verschiedener Weise betrachten. Man kann sich einen festen Standpunkt denken, von dem aus man beobachtet, und hat dann die wirkliche Bewegung der Körper im Raum vor sich; oder man bewegt sich mit dem einen der Körper und beobachtet dann die scheinbare Bewegung des andern, d. h. seine Ortsveränderung in Beziehung auf den ersten. Ist die scheinbare Bewegung des Körpers festgestellt und kennt man die wahre des Standpunkts, so ist natürlich auch die wirkliche Bewegung jenes Körpers bekannt. Wenn aus einem Eisenbahnzug, der in vollem Lauf begriffen ist, eine Kugel abgeschossen wird und diese in einem Hause durch eine Fensterscheibe hindurch in die gegenüberliegende Wand eines Zimmers einschlägt, so gibt die Richtung, welche durch den Eindruck in der Wand und durch das Loch in der Fensterscheibe bezeichnet ist, die Richtung der Kugel an, nachdem sie den Wagen verlassen hatte und nach dieser Richtung hin befand sich auch der Wagen, als die Kugel den Wagen verließ. Als sie aber im Zimmer ankam, war der Wagen längst irgendwo anders, „wo“ können wir nur angeben, wenn wir die Lage der Bahn und die Geschwindigkeit in der Bahn kennen; nur dann können wir finden, wie weit der Wagen in der Zeit

gekommen ist, welche die Kugel vom Wagen bis ins Zimmer brauchte. Ebenso wird jeder Lichtstrahl, der von einem bewegten Himmelskörper zu uns gelangt, allerdings die Richtung angeben, nach welcher hin der Körper stand im Augenblick, wo ihn das Licht verließ, ist er aber bis in unser Auge gekommen, so ist der Himmelskörper an einem andern Ort, den wir nur bestimmen können, wenn wir Bahn und Geschwindigkeit desselben kennen. Das ist nun der Fall für die Körper unsers Sonnensystems und darum läßt sich bei ihnen jederzeit die wahre Lage bestimmen, es ist aber nicht der Fall für die Körper außerhalb des Sonnensystems, denn wir kennen erstens ihre Bahnen in Beziehung auf die ruhend gedachte Erde und zweitens ihre Geschwindigkeit in diesen Bahnen nicht. Wo wir einen Stern sehen, da ist er nicht, da war er vor Jahren oder Jahrzehnten oder Jahrhunderten, als das Licht, das jetzt zu uns gelangt, von ihm ausging; und wo er jetzt ist, das wissen wir nicht, und das so lange nicht, als wir die Bahn, die er beschreibt, nicht so weit kennen, daß wir auf jene Zeit voraus seine Bewegung bestimmen können. So kommen wir wieder auf den Anfang unserer Betrachtung zurück. Was wir sehen, ist früher Gewesenes, und um das Jetzige zu erfahren, müssen wir die Zukunft voraussagen können, und das können wir bis jetzt nur bei den Bewegungen in unserm Sonnensystem.

---

4. Vertheilung der Fixsterne im Raum.

Das stereoskopische Bild, welches die Lage der uns nächsten Fixsterne (Tafel V.) versinnlichen soll*), zeigt unmittelbar, daß keine zwei Sterne so nahe bei einander sind, als der hellste Stern des Centauren bei der Sonne. Diese Thatsache ist, wenn wir sie verallgemeinern dürfen, für unsere Anschauung von der Vertheilung und Bewegung der Himmelskörper im Raum von großer Bedeutung. Streng genommen kann der Mathematiker unter der Annahme des Newton'schen Gesetzes der allgemeinen Anziehung nur die Bahnen zweier Körper genau bestimmen, z. B. der Sonne und der Erde, wenn man sich denkt, daß diese allein im Raume seien. Sobald ein dritter hinzukommt, welcher auf die zwei ersten und auf welchen die zwei ersten einwirken, wird die Aufgabe so complicirt, daß die heutige Mathematik sie nur in bestimmten Fällen lösen kann, z. B. insbesondere, wenn die Masse eines der drei Körper bedeutend überwiegt. Das ist der Fall in unserm Sonnensystem, wo die Masse der Sonne immer noch mehr als 1000 mal so groß ist, als die aller andern Planeten zusammen genommen. Selbst die Einwirkung des größten der Planeten, des Jupiter, auf irgend einen andern ist in Folge dessen gegenüber der der Sonne unbeträchtlich, so daß jeder Planet sich nahezu bewegt, wie wenn er allein mit der Sonne da wäre. Diese glückliche Vertheilung der Massen in unserm Sonnensystem würde aber die Aufgabe der Astronomen nicht erleichtern, wenn

*) siehe die Anmerkung S. 42.

ein an Masse unserer Sonne zu vergleichender Stern in der Nähe unseres Sonnensystems sich befände: er würde die Bahnen der Planeten wesentlich ändern, und es wäre Kepler nicht möglich gewesen, seine Gesetze der Planetenbewegungen aufzufinden, wenn außer der Sonne noch ein Fixstern wesentlichen Einfluß auf dieselben hätte. Nun haben wir aber gesehen, daß der uns nächste Fixstern immer noch um das 7000fache der Entfernung des äußersten Planeten Neptun von der Sonne absteht, bei gleicher Größe mit unserer Sonne würde er also doch nur den 40,000,000sten Theil der Einwirkung unserer Sonne auf Neptun ausüben, da die Einwirkung nach dem Quadrat der Entfernung abnimmt, und eine solche Einwirkung wird wohl noch lange für unsere Instrumente unbeobachtet bleiben. Wir sind darnach berechtigt, unser Sonnensystem als eine Welt für sich zu betrachten, in welcher die Bewegungen ungestört von andern Fixsternen vor sich gehen, und die Erfahrung zeigt auch wirklich, daß die Astronomen alle Bewegungen im Sonnensystem erklären können, ohne auf Körper zurückgreifen zu müssen, welche dem System fremd sind. Es ist wahrscheinlich, daß auch die andern Fixsterne, ähnlich wie die Sonne, ihre Begleiter haben, und daß sie mit diesen ähnliche unabhängige Systeme, wie unser Sonnensystem, ungestört durch die andern Fixsterne bilden.

Wenn dem so ist, so können wir jedes Fixsternsystem als ein Atom des Weltalls betrachten, in seiner ganzen Ausdehnung verschwindend klein gegen den Abstand selbst der nächsten Fixsterne. Wenn ein Scheibchen von einem Millimeter Durchmesser in der Mitte eines Zimmers auf-

gestellt wird, welches 7 Meter lang, breit und hoch ist, so erhalten wir eine Vorstellung der Größe des Atoms gegenüber dem Raum, der von allen andern Atomen frei ist.

Doch gibt es auch noch andere Systeme, wo nicht eine Masse überwiegt, die mehrfachen Sterne und die Sternhaufen. Wenn zwei Sterne so nahe bei einander stehen, daß sie nur im Fernrohr als doppelte erscheinen, während dem bloßen Auge beide in einem einzigen Eindruck verschwimmen, so folgt daraus noch nicht, daß sie auch in Wirklichkeit nahe bei einander sind. In einem fernen Gebirgspanorama können zwei Bergspitzen, die in Wirklichkeit weit von einander entfernt sind, unmittelbar neben einander erscheinen, weil die eine zufällig für den betreffenden Standpunkt hinter der andern liegt. Ebenso können zwei Sterne, die weit auseinander liegen, zufällig mit der Sonne nahe in gerader Linie liegen, und erscheinen uns dann, da wir kein unmittelbares Maß für ihre Entfernung haben, dicht neben einander. Ist das aber nicht der Fall, sind die Sterne in Wirklichkeit bei einander, so muß ihre gegenseitige Einwirkung eine beträchtliche sein, und wenn man annimmt, daß Newton's Gesetz der allgemeinen Anziehung im ganzen Weltall gilt, so muß jeder eine Ellipse um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt beider als Brennpunkt beschreiben. Vor etwa einem Jahrhundert hat W. Herschel begonnen, die Doppelsterne in dieser Richtung zu untersuchen, es haben seitdem schon mehrere einen vollen Umlauf zurückgelegt, man hat Umlaufzeiten von 37 bis 1000 Jahren bestimmt und gefunden, daß diese Bewegungen der Doppelsterne den Kepler'schen Gesetzen und Newton's Gesetz der allgemeinen

Anziehung gehorchen. Eine der denkwürdigsten Thatsachen der neuern Astronomie ist aber, daß ähnliche Bewegungen von Bessel auch bei einzelnen Sternen, z. B. bei Sirius*) und Procyon**) beobachtet wurden und daß Bessel daraus schloß, es müssen diese Sterne in Wirklichkeit Doppelsterne sein und als einzelne nur erscheinen, weil ihre Begleiter dunkel seien. Er selbst kam nicht mehr dazu, die Lage des dunkeln Begleiters aus der Bewegung des sichtbaren zu bestimmen. Peters löste diese Aufgabe und veröffentlichte im Jahr 1851 die Bahnbestimmung des Sirius und seines dunkeln Begleiters. Elf Jahre später wurde Bessel's Voraussage glänzend bestätigt durch die wirkliche Entdeckung eines Siriusbegleiters, welcher zuerst von Clark in Boston gesehen wurde und von welchem Auwers nachgewiesen hat, daß seine beobachtete Lage mit der berechneten übereinstimmt. Es ist damit wohl auf die überzeugendste Weise der Beweis geführt, daß das Gesetz der allgemeinen Anziehung im ganzen Weltraum seine Geltung hat, da es nicht blos zur Erklärung aller bekannten Bewegungen hinreicht, sondern sogar aus bekannten Erscheinungen auf bisher Unsichtbares schließen läßt. Auch von Procyon und seinem Begleiter ist nun durch Auwers die Bahn bestimmt, gesehen wurde jedoch der Begleiter bisher noch nicht.

Außer diesen Doppelsystemen, deren schon über 6000 beobachtet und — besonders durch Struve — untersucht worden sind, gibt es noch weiter Systeme dreifacher, vier-

---

*) Tafel II. α in canis major (großer Hund).

**) Tafel I. in canis minor (kleiner Hund).

facher u. s. w. Sterne und ganze Sternhaufen. Die Figuren 6 und 7 zeigen das Aussehen solcher Sternhaufen in den Sternbildern des Centauren, der Berenice und der Waage. Der Haufe mit zackigen Ausläufern im Haar der Berenice (coma Berenices, Tafel I. südlich vom Schwanz des großen Bären) hat beispielsweise einen



Fig. 6.

Durchmesser von etwa 5 Minuten, oder dem dritten Theil des Sonnendurchmessers. Charakteristisch ist bei allen die Zusammendrängung der einzelnen Sterne gegen die Mitte. In schwächern Fernröhren erscheinen solche Sternansammlungen als schwach leuchtende Flecken, als Nebelmassen. Aber auch die stärksten Fernröhren sind nicht

immer im Stande, leuchtende Flächen in Sterne aufzulösen und die Spectralanalyse hat schon jetzt gezeigt, daß es



Fig. 7.

Nebel gibt, die wirklich gasförmig sind, vorzugsweise Stickstoff enthalten.

Die in den Figuren 8 und 9 gegebenen Abbildungen stellen eine Reihe unauflösbarer Nebel dar von den verschiedensten Formen; ob sie Ansammlungen starrer Körper



Fig. 8.

oder Gasmassen enthalten, zeigt das Fernrohr nicht, das Spectroskop wird wohl am ehesten Klarheit darüber geben.

Auch Doppelnebel oder mehrfache Nebel sind am Himmel zu finden, wie die Figur 10 zeigt, der auffallendste

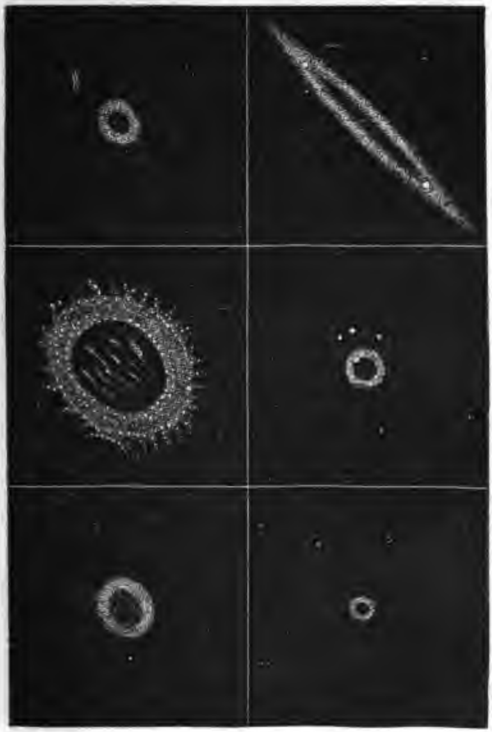


Fig. 9.

rechts oben in der Maghellan'schen Wolke der südlichen Himmelshalbkugel (Tafel II. nubes major).

Dazu kommen ferner eine Reihe Nebel zum Theil von den auffallendsten Gestalten, so Fig. 11 nach Rosse ein



Fig. 10.

ungemein schöner Nebel, der Rand mit schwach beleuchteten, auslaufenden Ansätzen versehen, die wie Füße und Scheeren

eines Krebses von dem Hauptkörper heraustreten. Er befindet sich im Stier. Im Löwen erscheinen (Fig. 12) um eine gedrängte Gruppe von Sternen eine Reihe spiral-



Fig. 11.

förmiger Windungen, von denen nach zwei Seiten hin noch Nebelmassen ausstrahlen. Betrachtet man dann noch die Fig. 13 aus dem Schiff auf der südlichen Halbkugel,

Fig. 14 aus dem Schild des Sobiesky, so scheint es als ob die Nebelmasse in Fluß komme, sich ausbreite und dabei hin- und hergetrieben werde, wie Rauchwolken. Die zwei



Fig. 12.

letzten unserer Abbildungen aus den Jagdhunden (Fig. 15) und aus der Jungfrau (Fig. 16) geben die Vorstellung eines Wirbelwinds, der die Nebelmassen in eigenthümlichen

Windungen aufrollt. Thatsache ist, daß diese Nebel im Allgemeinen sich ziemlich rasch ändern, eine genauere Einsicht in diese räthselhaften Gebilde von den allersonderbarsten Formen gibt vielleicht in der Zukunft die Spectralanalyse und die weitere Vervollkommnung unserer Fernröhren. Wir sind mit den Nebeln schon in ein Gebiet eingetreten, wo unsere Kenntniß vorerst eine Grenze hat;



Fig. 13.

nur Muthmaßungen können wir aussprechen, wenn wir einen Schritt weiter gehen wollen.

Schon Herschel gelangte zu der Ansicht, daß das Sonnensystem zu einer besondern Fixsterngruppe gehöre, welche andern ähnlichen Gruppen gleich geordnet ist. Die Milchstraße, die sich in ununterbrochenem, mehrfach verzweigtem Gürtel um den ganzen Himmel zieht, die aus

einer zahllosen Menge von Fixsternen besteht, so dicht an einander gedrängt, daß nur ein blasser, gleichmäßiger Schimmer in unser Auge fällt, macht es wahrscheinlich,



Fig. 15.

daß die Gruppe, zu der die Sonne gehört, die Form einer Linse hat, in deren Mitte ungefähr die Sonne jetzt sich befindet. Am Rand der Linse erscheinen uns die Sterne



Fig. 15.

zusammengedrängt und bringen den Eindruck der Milchstraße hervor. Versetzen wir uns weit weg von dieser



Fig. 16.

linsenförmigen Gruppe, so nehmen ihre Dimensionen immer mehr ab und sie mag schließlich denselben Eindruck, wie ein Sternhaufen oder Sternnebel machen, je nach dem

Standpunkt der einen oder andern Form in Fig. 10*) gleichend. Die nicht auflöslichen Nebel, welche das Spectroskop als Gasmassen erkennen läßt, mag man dann als Urzustände von einzelnen Fixsternsystemen betrachten, die sich allmählich ausbilden, wie nach Kant und Laplace unser Sonnensystem entstanden ist. Die Thatsache, daß die meisten Doppelsterne und vielfachen Sterne nicht gleich gefärbt sind, daß eine große Zahl Sterne veränderlich ist, d. h. in bestimmten jetzt schon vielfach bekannten Perioden an Glanz zu- und abnimmt, erhält vielleicht ebenfalls ihre Aufklärung durch die unermüdlich fortgesetzten Spectralbeobachtungen. Vorerst sind wir genöthigt, hier Halt zu machen und uns nun unserm Sonnensystem zuzuwenden.

---

*) siehe S. 64.

III.

Das Sonnensystem.

1. Gemeinsame Eigenschaften der dem Sonnensystem angehörigen Körper.

Die unserm Sonnensystem angehörigen Körper sind die Sonne, die Planeten und deren Begleiter, welche Monde oder Trabanten heißen. Dazu kommen die Kometen und Asteroiden, so weit sie nicht blos vorübergehend bei uns sich aufhalten. Denken wir uns zur Orientirung die Bahn, in welcher sich die Erde um die Sonne bewegt, in einer horizontalen Ebene, so hat, wie wir wissen, die Erdaxe eine bestimmte Neigung von etwa 66 Grad gegen diese Ebene, behält aber im Raum dieselbe Richtung, d. h. bleibt bei der Bewegung um die Sonne sich parallel, zeigt beständig nach einem festen Punkt, dem Nordpol, in dessen Nähe der Polarstern ist. In Folge dessen ist der Nordpol der Erde einmal am meisten abgekehrt von der Sonne und nach einem Halbjahr ihr am meisten zugekehrt, jenes im Winter, dieses im Sommer der nördlichen Halbkugel. Zwischen hinein liegen die Mittelstellungen des Frühlings und Herbstes, wo die Beleuchtung des Nordpols wieder beginnt oder wieder aufhört. Denken wir an diese ver=

schiedenen Stellungen der Erde im Laufe eines Jahrs, wie sie Jedermann vermittelst eines Globus sich deutlich machen kann, so lassen sich in ähnlicher Weise, wie auf dem Horizont, die Richtungen Nord, Ost, Süd und West feststellen. Die Richtung, nach welcher der oberhalb der Erdbahn gelegene Theil der Erdaxe hinweist, werden wir Norden nennen und darnach sagen, im Winter steht die Erde im nördlichsten Theil ihrer Bahn, und wenn wir nun in gleicher Folge die andern Richtungen feststellen wie auf dem Horizont, so ist die Erde im Frühjahr im Westlichsten Theil ihrer Bahn, im Sommer im Südlichsten und im Herbst im Oestlichsten, sie bewegt sich also von West über Süd nach Ost, oder wenn wir uns auf die Erdbahn gestellt denken, entgegengesetzt der Richtung des Zeigers einer Uhr, ebenso wie uns die Axendrehung der Erde erscheint, wenn wir uns am Nordpol stehend denken.

Die Ebene der Erdbahn trifft den Fixsternhimmel in einem Kreise, welcher Ekliptik heißt, und dessen Verlauf leicht aus der Lage einer Anzahl Sterne erster Größe, die nahe auf ihr liegen, Antares im Skorpion, Spica in der Jungfrau, Regulus im Löwen, Castor und Pollux in den Zwillingen und Aldebaran im Stier, sich ergibt. (In den Tafeln I. und II. ist die Ekliptik, die scheinbare Bahn, welche die Sonne unter den Fixsternen zurücklegt, bezeichnet und die genannten Sterne tragen in den betreffenden Sternbildern alle den Buchstaben α, nur Pollux den Buchstaben β.) Der Reihe nach wandert die Sonne im Laufe des Jahrs durch die zwölf Sternbilder des Thierkreises: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann,

Fische*), so daß sie im Monat April im Widder, im Mai im Stier u. s. w. sich befindet, wie auf den Tafeln I. II. angeschrieben ist. Da nun die Sonne von der Erde aus gesehen gerade nach der entgegengesetzten Seite des Himmels erscheint, als die Erde von der Sonne aus gesehen, so wird vom Mittelpunkt des Sonnensystems aus die Erde im April in der Waage, im Mai im Skorpion u. s. w. erscheinen. In dem durch jene zwölf Sternbilder bezeichneten Gürtel oder dem sogenannten Thierkreis bewegen sich von der Sonne aus gesehen, alle Planeten und alle in gleicher Richtung von West über Süd nach Ost, alle Trabanten beschreiben in derselben Richtung ihre Bahnen um ihre Planeten, und alle uns bekannte Axendrehungen, die der Sonne mit eingeschlossen, erfolgen ebenfalls in dieser Richtung. Eine solche Gemeinsamkeit kann keine zufällige sein, und wenn nicht, so handelt es sich darum, nachzuweisen, woher sie rührt. Zwei Männer haben unabhängig von einander diese Aufgabe zu lösen versucht — Kant und Laplace — und sind im Wesentlichen zu gleichem Ziel gelangt.

Denkt man sich alle Masse, die jetzt in unserm Sonnensystem enthalten ist, ursprünglich gleichmäßig vertheilt im Raum, mit ungemein kleiner Dichtigkeit — also wohl gasförmig — und mit sehr hoher Temperatur, um alle Stoffe in Gasform enthalten zu können, so mußte sich

*) Für den des Latein Kundigen am leichtesten durch folgende Hexameter dem Gedächtniß einzuprägen:

Sunt aries, taurus, gemini, cancer, leo, virgo,
Libraque, scorpius, arcitenens, caper, amphora, pisces.

diese Masse zunächst in eine kugelartige Form zusammenballen, wie wir sehen, daß ein frei fallender Wassertropfen die Form einer Kugel annimmt. Dieser Gasball konnte nicht in Ruhe sein, er hatte eine Fortbewegung im Raum und eine Drehung um eine Axe in der Richtung von West über Süd nach Ost, er bildete eine leuchtende Nebelmasse, wie wir sie noch jetzt in verschiedenen Regionen des Himmels sehen. Die einzelnen Theile zogen sich an und damit entstand das Bestreben, sich zusammen zu ziehen, dichter zu werden; und das Ganze strahlte Wärme aus, womit in Folge der Erkaltung ebenfalls eine Verdichtung verbunden war. Wenn die Ausstrahlung der Wärme überwog gegenüber der durch jene zusammenziehende Kraft entbundenen Wärme, so kühlte sich dabei das Ganze ab, doch konnte auch trotz der Ausstrahlung die Temperatur gleich bleiben und die Verdichtung doch vor sich gehen. Zugleich mit dieser mußte jedenfalls die Geschwindigkeit der Axendrehung zunehmen. Denn bei jeder Axendrehung haben die von der Axe entferntesten Theile die größte Geschwindigkeit, so bei unserer Erde die Orte des Aequators; je näher an der Axe, desto kleiner ist der während einer Umdrehung zurückgelegte Weg, desto kleiner also die Geschwindigkeit und auf der Axe selbst, an den Polen, ist sie Null. Wenn nun entferntere Theile sich der Axe nähern, so kommen sie mit einer Geschwindigkeit an, die größer ist als die der neuen Lage entsprechende, sie werden das Bestreben haben, das Ganze in raschere Drehung zu versetzen. Binden wir eine kleine Kugel an einen Faden, schwingen die Kugel im Kreise und verkürzen zugleich den Faden, so sehen wir leicht, wie rasch die drehende Bewegung zu-

nimmt. Oder noch einfacher: man lasse den Faden auf einen dünnen Stab, etwa auf einen Bleistift, sich aufwinden, wodurch derselbe von selbst immer kürzer wird; wir sehen dann, daß die Geschwindigkeit der Drehung immer größer wird, daß eine Umdrehung in immer kleinerer Zeit erfolgt. Wird die Drehgeschwindigkeit zu groß, so überwiegt die Centrifugalkraft oder das Bestreben sich von der Axe zu entfernen, der Faden reißt und die Kugel wird frei. In ähnlicher Weise werden von unserm Gasball, wenn die Drehgeschwindigkeit zunimmt, zuletzt da wo die Geschwindigkeit am größten ist, am Aequator des Balls, an den von der Axe entferntesten Stellen einzelne Theile sich losreißen. Die abgelösten Theile behielten in Folge des Beharrungsvermögens ihre Bewegung von West über Süd nach Ost und begannen nun als selbstständige Ganze in dieser Richtung ihre Bahnen um den zurückgebliebenen Rest zurückzulegen, dessen Anziehung groß genug blieb, um ein Verlieren des abgelösten Theils in den unendlichen Raum zu verhindern. Der selbstständig gewordene Theil nahm wieder in Folge der gegenseitigen Anziehung seiner Theile Kugelform an und drehte sich in der Richtung West über Süd nach Ost um eine Axe, welche in der Regel der Axe des Gasballs nahe parallel war. Denn die äußersten Theile hatten nach der Ablösung die größte Geschwindigkeit, die innern die kleinste in dieser Richtung: es mußten also die äußersten in diesem Sinn voraneilen, d. h. eine Axendrehung von West über Süd nach Ost mußte entstehen.

Solche Ablösungen konnten öfter nach einander stattfinden, und da sie immer am Aequator stattfanden, wo die Centrifugalkraft am stärksten wirkte, so fielen die Bahnen

aller abgelösten Körper nahe in dieselbe Ebene, welche jetzt noch Aequator des Restes des Gasballs, unserer Sonne, ist; die Richtung der Bewegung mußte für alle gleich sein, die vorkommenden Dreharen mußten alle nahe parallel der der Sonne sein; d. h. es ist durch diese Annahme Alles erklärt, was dem Sonnensystem gemeinsam ist und wir dürfen uns also wohl seine Entstehung in ähnlicher Weise denken. Wiederholt sich bei einem Planeten derselbe Proceß, so bilden sich Begleiter, welche wieder in gleicher Richtung ihre Planeten umkreisen und um ihre Aren sich drehen.

Daß ein solcher Vorgang möglich ist, hat zuerst Plateau an einem Experimente gezeigt, bei welchem ähnliche Umstände einwirken. In ein Gefäß mit Glaswänden, um den Vorgang im Innern sehen zu können, wird eine Mischung von Wasser und Alkohol gebracht, welche genau gleiches specifisches Gewicht mit Olivenöl hat, und dann vorsichtig mit einer Pipette von dem Oel eingeführt. Es nimmt dies augenblicklich Kugelgestalt an, und so oft eine neugebildete Kugel in Berührung mit einer vorher entstandenen gebracht wird, fließen beide in eine größere zusammen. Wird eine solche Kugel von nicht zu kleinen Dimensionen an eine drehbare Are, die eine kleine Scheibe trägt, so angehängt, daß die Scheibe in die Mitte der Kugel zu liegen kommt, so kann die Kugel durch Drehung der Are ebenfalls in Drehung versetzt werden, da das zähflüssige Oel an Are und Scheibe anhängt und an der Mischung von Wasser und Alkohol wenig Widerstand für seine Bewegung findet. Dreht man gleichförmig, aber sehr langsam, so plattet sich die Kugel ab, ihre Aus-

dehnung in der Richtung der Drehaxe wird kleiner, senkrecht zur Axe größer. Wird die Geschwindigkeit langsam vermehrt, so löst sich ein Ring ab (Fig. 17), der in gleichem Sinn sich dreht, und bei noch zunehmender

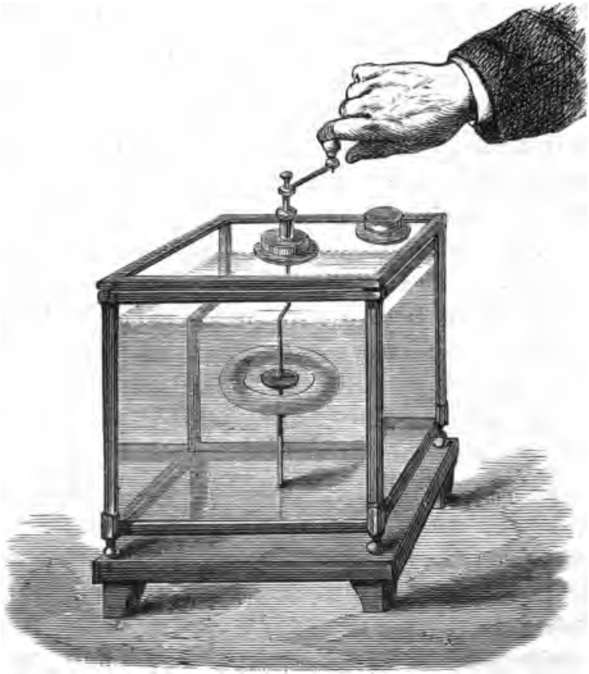


Fig. 17.

Geschwindigkeit, die sich durch die umgebende Flüssigkeit dem Ring mittheilt, zerreißt, um einzelne Kugeln zu bilden, die im Sinn der Drehung um die Axe Kreise beschreiben und, in gleichem Sinn um ihre eigene Axe sich drehen. Wird dagegen die Geschwindigkeit sehr rasch vermehrt, so

bildet sich kein Ring, sondern es lösen sich sogleich Kugeln ab, zuerst größere, dann allmählich kleinere. Bei einer ziemlich großen Menge Oel ist es bei einiger Geschicklichkeit möglich, einen Ring zur Ablösung zu bringen, welcher längere Zeit um die an der Axe zurückgebliebene kugelförmige Masse sich dreht. Die große Aehnlichkeit dieser Erscheinung mit der oben beschriebenen Entstehung des Sonnensystems läßt sich nicht verkennen. Wenn auch bei diesem Versuch andere Kräfte wirken, vor allem die eigenthümlichen Spannungen an der Oberfläche von Flüssigkeiten, welche sicher anderer Art sind, als die im Innern wirkenden Kräfte, während bei der Bildung des Sonnensystems eben nur die allgemeine Anziehung ins Spiel kommt, so ist doch die Wirkung der Centrifugalkraft beidemal dieselbe. Die Ringbildung um eine Kugel erinnert insbesondere lebhaft an das System des Saturn.

Man kann in der Ausführung der Hypothese noch weiter gehen. Bei der Sonne, dem übrig gebliebenen Kern des Ganzen, geht wahrscheinlich noch jetzt die Verdichtung weiter und daraus erklärt sich, wie wir später sehen werden, ihre hohe Temperatur. Die größten Planeten, Neptun, Uranus, Saturn und Jupiter, lösten sich zuerst ab, sie sind weniger dicht, weil zur Zeit ihrer Ablösung die Verdichtung des Gasballs noch nicht so weit vorgeschritten war, und von den zwei letzten wenigstens wissen wir, daß sie außer dem zurückgeworfenen Sonnenlicht auch noch eigenes Licht aussenden, daß sie also an der Oberfläche noch glühen: die größere Masse kühlt langsamer ab und so stehen diese Planeten dem Zustand der Sonne näher, als die kleinen, zu denen die Erde gehört. Es ist

durchaus nicht nöthig, daß die Dichte der Planeten von außen nach innen im Sonnensystem stetig zunehme, die Größe und die dadurch bedingte Schnelligkeit der Abkühlung spielt auch ihre Rolle.

Nehmen wir wirklich an, das Sonnensystem sei auf diesem Wege entstanden, und beobachten wir an einem Körper, der jetzt dem System angehört, Erscheinungen, welche jener Entstehung nicht entsprechen, so kann derselbe nicht von Anfang an dem Sonnensystem zugetheilt gewesen sein, er ist erst später eingedrungen und durch die Anziehung der Sonne und Planeten zum Bleiben genöthigt worden. Es ist sehr wahrscheinlich, daß Kometen und Asteroiden solche Körper sind, die erst nach Bildung des Sonnensystems von außen in dasselbe hereinkamen. Von den Kometen weiß man, daß ihre Bahnen durchaus nicht an den Thierkreis gebunden sind. Der große Komet von 1858 ging durch die Sternbilder des großen Bären und des Bärenführers, um dann erst den Thierkreis zu kreuzen; der Komet vom August 1862 ging nahe am Pol vorbei; überhaupt fällt die große Mehrzahl der Kometenbahnen nicht in den Thierkreis, sie haben alle möglichen Neigungen gegen die Erdbahn, bewegen sich zum Theil allerdings von West über Süd nach Ost, aber auch ebenso häufig in umgekehrter Richtung. Wir müssen also die Kometen als Fremde betrachten, welche von außerhalb des Sonnensystems zu uns gelangen, entweder blos hindurchgehen, ohne wiederzukehren, oder durch die Einwirkung von Sonne und Planeten zurückgehalten werden, so daß sie das Sonnensystem nicht mehr verlassen können und von da an bestimmte Bahnen um die Sonne beschreiben, die möglicher-

weise nach kurzer Zeit sich wieder abändern. Die Asteroiden, d. h. die kleinen Körper, welche beim Eindringen in unsere Atmosphäre in Folge ihrer großen Geschwindigkeit in der widerstehenden Luft zum Glühen kommen und entweder Sternschnuppen erzeugen oder als Meteorsteine zur Erdoberfläche gelangen, lassen sich entweder als Trümmer der Kometen oder als selbstständige Körper, die wie die Kometen von außen in das Sonnensystem eindringen, betrachten.

Doch ehe wir klar in diese Verhältnisse hineinsehen können, ist es nöthig, die Bewegungen in unserm Sonnensystem näher anzusehen.

2. Kepler's Gesetze.

Als Kopernikus die neue Weltanschauung lehrte, daß die Sonne, nicht die Erde als Mittelpunkt des Planetensystems zu betrachten sei, und daß die einzelnen Planeten um die Sonne ihre Bahnen beschreiben, da hielt er noch daran fest, daß diese Bahnen Kreise seien: der Kreis war nach damaliger Anschauung als einfachste und vollkommenste geschlossene Figur die einzig würdige und mögliche Form der Bahn. Bald aber zeigte sich, daß diese Anschauung nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmte: genauere Beobachtungen gaben Ungleichheiten in der Geschwindigkeit, mit der sich die Planeten bewegten. Diese Ungleichheiten ließen sich nicht erklären, wenn sich die Planeten in Kreisen bewegten, deren Mittelpunkt die Sonne war; denn das Charakteristische des Kreises in Beziehung auf seinen

Mittelpunkt ist ja seine Gleichheit nach allen Seiten und in allen Punkten. Aufgeben wollte man aber den Kreis doch noch nicht, man half sich, indem man den Sitz der Sonne aus dem Mittelpunkt des Kreises heraus in einen seitlich gelegenen Punkt versetzte, man nahm seine Zuflucht zu excentrischen Kreisen, zu Kreisen, deren Mittelpunkt nicht mit dem der Sonne zusammenfällt. Jetzt waren natürlich die Verhältnisse an verschiedenen Theilen der Bahn verschieden, der Planet hatte eine kleinste und eine größte Entfernung von der Sonne, die Bewegung mußte eine ungleichförmige sein. Es fragte sich nur, ob die Art der Ungleichheit in jeder Beziehung der neuen Annahme entsprach. Diese Untersuchung nahm Kepler auf sich, indem er die von dem dänischen Astronomen Tycho de Brahe am Ende des 16. Jahrhunderts angestellte, für jene Zeit ungemein genaue Reihe von Beobachtungen des Planeten Mars benützte; er zeigte, daß alle bisherigen Annahmen nicht genügen, um die Bewegung des Mars vollständig zu erklären, und kam endlich nach den mühevollsten Berechnungen zu dem Schlusse, daß nur eine elliptische Bahn den Beobachtungen ganz entspreche.

Man stecke zwei Nadeln in ein mit Papier überzogenes ebenes Brett, nehme einen Faden, dessen Länge größer als die doppelte Entfernung der zwei Nadeln ist, binde dessen Enden zusammen, lege ihn um die zwei Nadeln und halte ihn gespannt durch die Spitze eines Zeichenstifts: führt man jetzt den Stift rings herum, während der Faden beständig gespannt ist und ganz auf dem Papier aufliegt, so beschreibt der Stift eine Ellipse auf dem Papier. Durch Abänderung der Länge des Fadens und der Entfernung

der Nadeln erhält man die verschiedensten Formen, bei sehr langem Faden im Verhältniß zur Entfernung der Nadeln wenig vom Kreis abweichende, bei sehr kurzem dagegen sehr in die Länge gezogene Figuren. Die zwei Punkte, in welchen die Nadeln das Papier durchbohren, heißen die Brennpunkte der Ellipse und jede Gerade von einem Brennpunkt zum Umfang nennt man Brennstrahl. Denkt man sich nämlich einen Metallring in der Form einer Ellipse, innen polirt, und in den einen Brennpunkt eine brennende Kerze gestellt, so werden alle Licht- und Wärmestrahlen, welche den Ring treffen, an der polirten spiegelnden Fläche so zurückgeworfen, daß sie nachher im zweiten Brennpunkt sich wieder sammeln, also dort eine größere Beleuchtung und Erwärmung hervorbringen, als an irgend einem andern Punkt. Die Ellipse ist die einfachste krumme geschlossene Linie nächst dem Kreise, und man kann den Kreis selbst eine Ellipse nennen, bei welcher die zwei Brennpunkte zusammenfallen. Denn nimmt man bei obigem Versuch nur eine Nadel statt zwei, so erhält man offenbar einen Kreis und je näher man bei gleicher Länge des Fadens die Nadeln zusammenstellt, desto ähnlicher ist die Ellipse einem Kreis. Die Zahl, welche angibt, wie viel mal länger der Faden ist als der Abstand der Nadeln, bestimmt die Form der Ellipse vollständig*), sie

*) Um aus dieser Verhältnißzahl das zu finden, was der Astronom Excentricität nennt, bilde man einen Bruch, dessen Zähler Eins und dessen Nenner um Eins kleiner als die Verhältnißzahl ist; also ist die Excentricität nach den obigen Beispielen für die Erde $^1/_{59}$, für Mars $^1/_{11}$, Polyhymnia $^1/_3$, Komet von Faye $^1/_2$ und für die meisten Kometen etwas weniger als Eins.

ist für alle Planetenbahnen verhältnißmäßig groß, z. B. 60 für die Erde: wer eine solche Ellipse sich zeichnet, wird mit bloßem Auge keinen Unterschied von einem Kreis wahrnehmen, und wenn man noch dazu einen Kreis mit gleichem Mittelpunkt zeichnet (der Mittelpunkt der Ellipse ist die Mitte zwischen beiden Brennpunkten), der die Ellipse gerade noch einschließt oder der gerade noch in die Ellipse hineinpaßt, so ist ohne Messung sehr schwierig zu sagen, welches der Kreis und welches die Ellipse ist. Schon eher zeigt es sich bei der Marsbahn, welcher die Verhältnißzahl 12 zukommt. Glücklicherweise hatte Tycho gerade den Mars zum Gegenstand seiner Beobachtungen gewählt: die größere Abweichung von der Kreisbahn erleichterte Kepler seine Aufgabe. Da er, wie oben gesagt, fand, daß Tycho's Beobachtungen nur zu erklären sind, wenn man annimmt, daß Mars eine Ellipse beschreibe, in deren einem Brennpunkt die Sonne sich befinde, so stellte er allgemein den Satz auf:

Jeder Planet beschreibt eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

Dies ist das erste Gesetz Kepler's. Das zweite bezieht sich auf die Geschwindigkeit der Bewegung in dieser Bahn. Eine Gerade durch die beiden Brennpunkte, nach beiden Seiten bis zum Umfang der Ellipse verlängert, die größte gerade Linie, die man in die Ellipse hineinlegen kann, heißt die große Axe der Ellipse, die Senkrechte dazu durch den Mittelpunkt die kleine Axe. Befindet sich ein Planet in den Endpunkten der großen Axe, so ist er von der Sonne entweder am weitesten entfernt oder ihr am nächsten, er ist in der Sonnenferne oder Sonnennähe. In der letzten

bewegt er sich am schnellsten, verliert dann an Geschwindigkeit, bis er in die Sonnenferne gelangt, wo er am langsamsten geht, und von da an erfolgt wieder Zunahme der Geschwindigkeit bis zur Sonnennähe. Das Gesetz der Aenderung ist in dem Satze ausgesprochen:

In gleichen Zeiten werden von den Brennstrahlen gleiche Flächenräume beschrieben.

Das heißt: wenn man sich auf der Bahn eines Planeten die Stände desselben jetzt, nach einem Tag, nach zwei Tagen u. s. w. einzeichnet und die zugehörigen Brennstrahlen zieht, so entstehen eine Reihe von Dreiecken, die alle gleich groß sind; jedes Dreieck stellt den Flächenraum dar, über welchen der Brennstrahl im Laufe eines Tages hinstreicht. Dasselbe gilt, mag man die gleichen Zwischenräume von Tag zu Tag oder von Stunde zu Stunde oder irgendwie anders annehmen. Kennt man also den Stand des Planeten für irgend zwei Zeitpunkte, so kann man ihn für jeden andern Zeitpunkt nach Anleitung dieses Gesetzes bestimmen. Daß die Geschwindigkeit in der Sonnennähe am größten ist, ergibt sich nun sehr einfach. Bei Ellipsen mit großen Verhältnißzahlen sind die Dreiecke wenig verschieden, es ändert sich also die Geschwindigkeit nicht beträchtlich; bei sehr gestreckten Ellipsen dagegen sind die Dreiecke in der Gegend der Sonnenferne sehr lang mit kleiner Grundlinie, in der Gegend der Sonnennähe kurz mit großer Grundlinie. (Fig. 18.)

Betrachtet man die Uebersichtskarte des Sonnensystems, (Tafel III.) so fällt sogleich der große Unterschied zwischen Planetenbahnen und Kometenbahnen in die Augen: die letzten sind deutlich elliptisch, die ersten von Kreisen nicht

zu unterscheiden; der Mittelpunkt der Kometenbahnen liegt im Allgemeinen weit ab von der Sonne, die Bahnen kreuzen eine Reihe von Planetenbahnen, während bei den Planeten der Bahnmittelpunkt immer in den Sonnenkörper fällt und keine Bahn mit einer andern zusammentrifft. Von den mit bloßen Augen sichtbaren Planeten nähert sich die Venusbahn am meisten dem Kreise, ihre Verhältnißzahl ist **144**, die Merkursbahn mit der Zahl **6** ist am meisten elliptisch. Unter den Planetoiden, der großen Zahl kleiner Planeten zwischen Mars und Jupiter, gibt

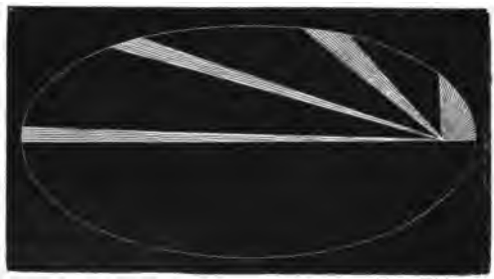


Fig. 18.

es einen, die Polyhymnia, welchem die Verhältnißzahl **4** zukommt. Gehen wir nun aber zu den Kometen, so ist die größte vorkommende Verhältnißzahl — bei dem Kometen von Faye — nur 3, und bei der großen Mehrzahl wenig verschieden von 2, der kleinsten Zahl, die überhaupt vorkommen kann. Es sind also zwei ganz geschiedene Gruppen von Körpern, wenn wir die Form der Bahn betrachten; und es ist klar, daß auch aus diesem Grund die Kometen nicht als Ablösungen von dem Gasball, aus dem die Planeten sich bildeten, betrachtet werden können. Halten

wir dies zusammen mit den oben (S. 80) angeführten wesentlichen Unterschieden, so kann kein Zweifel mehr übrig sein, daß die Kometen erst nach der Bildung des Sonnensystems hereingekommen sind.

---

3. Die Kometen und Asteroiden.

Alle Kometen, welche in die Nähe der Erdbahn kommen, haben hier eine Geschwindigkeit, welche zwischen 5 und 6 Meilen liegt, also etwa das Anderthalbfache der Geschwindigkeit beträgt, mit welcher sich die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne bewegt. In größerer Entfernung, sei es ehe der Komet sichtbar wird oder nachdem er wieder verschwunden ist, muß die Geschwindigkeit nach Kepler's zweitem Gesetz kleiner sein, und jenseits des Sonnensystems wird sie nur noch einen Bruchtheil einer Meile betragen können. Umgekehrt, wenn ein Komet schon außerhalb des Sonnensystems eine planetarische Geschwindigkeit hat, d. h. eine Geschwindigkeit, die einige Meilen beträgt, so ist bei der großen Entfernung desselben von der Sonne die in einer bestimmten Zeit zurückgelegte Fläche so groß, daß überhaupt die Dimensionen der ganzen Bahn sehr groß sein müssen. Wenn aber dies der Fall ist, so kommt der Komet der Sonne nicht so nahe, um für uns sichtbar werden zu können. Man kann sagen, daß im Durchschnitt ein Komet für uns unsichtbar bleibt, wenn er nicht der Sonne näher als auf 8 Erdbahnhalbmesser kommt. Alle Kometenbahnen, welche ganz außerhalb dieser Entfernung fallen, bleiben uns also unbekannt, es sind dies die Bahnen

derjenigen Kometen, welche außerhalb des Sonnensystems in Beziehung auf dieses eine planetarische Geschwindigkeit besitzen. Ausgenommen wäre nur der Fall, daß die große Geschwindigkeit sehr nahe gegen die Sonne gerichtet wäre: in diesem Fall würde der Komet in nahe gerader Linie an der Sonne vorbei durch das Sonnensystem gehen, um nie wiederzukehren, ein, wie die Erfahrung zeigt, sehr seltener Fall. Viel häufiger tritt der andere Fall ein, daß die Geschwindigkeit außerhalb des Sonnensystems eine sehr kleine ist, so daß die Dimensionen der Bahn klein sind, der Komet also in unsere Nähe kommt und sichtbar wird. Man sieht aber leicht ein, daß von allen möglichen Fällen auch dieser nur ein Ausnahmsfall ist, daß also überhaupt von der Zahl der Kometen, die unser Sonnensystem besuchen, nur ein sehr kleiner Theil uns sichtbar wird. Soll nämlich die Bewegung eines Kometen außerhalb des Sonnensystems in Beziehung auf dieses klein sein, so kann dies nur geschehen, wenn sich der Komet nahe mit gleicher Geschwindigkeit wie die Sonne und nahe in gleicher Richtung bewegt: nur dann ist seine Bewegung in Beziehung auf die Sonne klein, nur dann beschreibt er eine der Erdbahn sich nähernde oder sie durchschneidende Bahn und wird der Erde sichtbar. Wenn Kepler gesagt hat, die Kometen seien zahllos wie die Fische im Meer, so hat er ganz sicher Recht, wenn wir bedenken, daß die bei weitem größte Zahl uns ganz unsichtbar bleibt, und doch beinahe in jedem Jahr mehrere bisher unbekannte entdeckt werden.

Weil die Kometen von außerhalb des Sonnensystems kommen, so erscheinen sie gewöhnlich plötzlich und unvermuthet, und kehren häufig nicht mehr zurück. Da die

Form, sowohl was den Kern als was den Schweif betrifft, beständig wechselt, so läßt sich eine Wiederkehr eines Kometen nur an der Bahn erkennen, aber auch dieses Merkmal reicht nicht aus, da nicht selten eine Kometenbahn vollständig umgewandelt wird. Eines der auffallendsten Beispiele dieser Art ist der unter dem Namen Lexell's bekannte Komet von 1770, dessen Umlaufszeit um die Sonne zu 5½ Jahren bestimmt wurde. Da er aber früher nicht war gesehen worden, so untersuchte Laplace den Fall genauer und fand, daß der Komet in der Nähe des Jupiter vorübergegangen und daß durch die bedeutende Einwirkung der Jupitermasse die Bahn vollständig geändert worden war. Er erschien wieder 1776, aber unter ungünstigen Umständen für die Beobachtung, und dann nicht mehr: ein zweiter Vorübergang an Jupiter, wobei er zwischen dessen Trabanten durchging, verwandelte die Bahn wieder in eine lang gestreckte mit sehr großer Umlaufszeit.

Da die uns sichtbaren Kometen von außen kommend alle Bahnen der größern Planeten kreuzen müssen, wenn die Neigung ihrer Bahnen gegen die Ekliptik nicht zu groß ist, so kann es leicht vorkommen, daß eine bedeutende Annäherung an einen derselben stattfindet und dadurch die Bahn in eine planetarische umgewandelt wird, welche ganz innerhalb des Sonnensystems liegt. Solcher Kometen mit Umlaufszeiten von 3 bis 80 Jahren kennt man jetzt etwa ein Dutzend und sie haben nach manchfacher Richtung hin Aufschlüsse über die räthselhaften Körper gegeben. Nicht blos in Beziehung auf die Bahnform ist ein wesentlicher Unterschied zwischen Kometen und Planeten: auch die Zusammensetzung und innere Beschaffenheit ist eine wesentlich

verschiedene. Man darf die Kometen nicht als starre Körper betrachten, denn man hat schon durch sie hindurch Sterne gesehen, nicht als flüssige oder gasförmige Massen, denn die Sterne, die man durch Kern oder Schweif hindurch sieht, erfahren nicht die geringste Verschiebung gegen ihre wahre Lage, was beim Sehen durch ein Gas oder eine Flüssigkeit stets der Fall ist. Man darf ihnen endlich trotz ihrer oft ungeheuern Ausdehnung — die Schweife der großen Kometen sind Millionen von Meilen lang — doch nur kleine Massen zuschreiben, da noch keiner einen nachweisbaren Einfluß auf die Bewegungen der Planeten ausgeübt hat, da insbesondere der Lexell'sche Komet bei seinem Durchgang durch das Jupitersystem nicht im Stande war, die Bahnen der Jupitertrabanten irgendwie abzuändern. Wie eine fallende Flaumfeder dem leichtesten Windhauche preisgegeben ist, jeden Augenblick ihre Bahn ändert, an starre Körper stoßend abgelenkt wird, ohne selbst einen merklichen Einfluß auszuüben, so hat man sich die Kometen als luftige Wesen zu denken, die dem geringsten Widerstand nachgeben.

Einem wenn auch sehr kleinen Widerstand sind sie aber jederzeit ausgesetzt. Wenn wir uns auf der Erdoberfläche erheben, so wird die Luft immer dünner, aber eine Grenze, an welcher wir sagen könnten: „diesseits ist noch Luft, jenseits nicht", läßt sich wohl kaum denken. Viel wahrscheinlicher ist, daß wenigstens einige Gase, die auch bei sehr niedriger Temperatur noch nicht flüssig oder starr werden, im ganzen Weltraum verbreitet sind, und bei unserer Vorstellung von der Entstehung des Sonnensystems müssen wir das annehmen. Jeder Körper hat

durch seine Anziehung eine Atmosphäre um sich gebildet, der Rest schwebt noch im Weltraum und wirkt der Bewegung der Himmelskörper entgegen. Der Komet von Encke zeigt entschieden eine solche Einwirkung, der Komet von Faye wahrscheinlich. Das Resultat wird sein, daß alle Kometen, die dauernd im Sonnensystem bleiben, immer engere Bahnen um die Sonne beschreiben, bis sie schließlich mit derselben zusammenfallen. Bei den Planeten hat sich bisher keine Spur ähnlicher allmählicher Bahnänderung gezeigt, ihre Masse kann den Widerstand leichter überwinden. Schon die gekrümmte Form des Schweifes führt unmittelbar zu der Vorstellung von einer leichtbewegten, wie vom Winde zur Seite gewehten Masse. Der Komet von 1811 (Fig. 19) zeichnete sich durch die gewaltige Entwicklung des Schweifes aus, verbunden mit einer weiten Umhüllung des Kerns, während der von Donati (Fig. 20) (1858) viel gedrungener, aber auch glänzender erschien: dicht neben dem hellglänzenden Arctur wurde der Kern in keiner Weise verdunkelt, der obere Theil des Schweifes war durch eine glänzende Lichtlinie abgeschlossen und außer dem eigentlichen Schweife gingen von dem Kern noch zwei schwach leuchtende Lichtstreifen aus. So räthselhaft alle diese Erscheinungen sind, klar ist, daß die Massenvertheilung in den Kometen beständig wechselt und daß bei der Annäherung an die Sonne ein Ausströmen von Stoff zur Schweifbildung in der Regel in der zur Sonne entgegengesetzten Richtung stattfindet. Ob dieser Stoff sich wieder sammelt, ob er für den Kern verloren geht, wir wissen es nicht, doch scheinen in der That die Kometen bei wiederholter Erscheinung immer mehr an Glanz abzunehmen,

so insbesondere der Halley'sche; und andere gehen ihrer Auflösung entgegen, indem sie sich in Theile abscheiden, wie der Biela'sche. Ein großer Theil dieser sonderbaren



Fig. 19.

Eigenschaften findet seine Erklärung in dem Zusammenhang, der in der neuesten Zeit zwischen Kometen und Asteroiden entdeckt worden ist.

Man hat früher mit dem Namen „Asteroiden“ die kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter bezeichnet: es wird passender sein, ihnen den Namen „Planetoiden“ zu geben und den andern „Asteroiden“ den Körpern vorzubehalten, welche in die Atmosphäre der Erde eindringend



Fig. 20.

in Folge ihrer bedeutenden Geschwindigkeit durch den Widerstand der Luft bis zum Glühen erhitzt werden und uns als Sternschnuppen erscheinen, oder auch bis zur Erdoberfläche gelangen und als Meteorsteine niederfallen. Wir werden sehen, daß diese kleinen Körper von außerhalb des Sonnensystems herkommen, und insofern paßt für sie ein an die

Sterne erinnernder Name, während für die kleinen Planeten schon durch den oben genannten Namen ihre Zugehörigkeit zum Sonnensystem angedeutet wird. Die glänzende Erscheinung von Sternschnuppenschwärmen in der Nacht vom 13. zum 14. November in den Jahren 1866, 1867 und 1868 war die äußere Veranlassung, welche den Asteroiden wieder mehr Aufmerksamkeit zuführte und welche insbesondere den Mailänder Astronomen Schiaparelli zu einer Auseinandersetzung führte, in welcher Weise man sich die regelmäßigen Wiederholungen der Sternschnuppenfälle und ihr Eindringen in unser Sonnensystem zu denken habe. Damit wurde der erste Schritt gethan, um das Auftauchen der früher so räthselhaften Körper zu begreifen, deren Existenz noch am Anfang unseres Jahrhunderts bezweifelt wurde.

Wenn die Asteroiden überall im Raume zerstreut sind und dabei die verschiedensten Richtungen haben, so müssen bei ruhender Erde auf jeden Theil des Himmels von bestimmter Größe bei günstiger Beobachtungszeit im großen Ganzen gleich viel Sternschnuppen kommen. Da aber die Erde sich bewegt, so dringen offenbar am meisten Asteroiden auf derjenigen Seite der Erde in die Atmosphäre ein, nach welcher hin sich die Erde bewegt, am wenigsten auf derjenigen, von welcher sie sich entfernt. Weil sich die Erde um ihre Axe in gleicher Richtung dreht, in welcher sie sich auf ihrer Bahn um die Sonne bewegt, so ist, wie man sich leicht vermittelst eines Erdglobus überzeugen kann, jeder Ort der Erde dann auf der Seite, nach welcher hin die Erde sich bewegt, wenn ihm die Sonne aufgeht, auf der entgegengesetzten, wenn ihm die Sonne untergeht.

Es müßten also die Sternschnuppen Morgens am häufigsten, Abends am seltensten sein, wenn die obige Voraussetzung gleichmäßiger Vertheilung im Raum bei den verschiedensten Geschwindigkeitsrichtungen der Wahrheit entspricht. Es ist nun freilich Thatsache, daß es „Ausstrahlungspunkte" gibt, einzelne Punkte am Himmel, von denen vorzugsweise die Sternschnuppen auszugehen scheinen (so insbesondere die des 10. August von einem Punkt im Sternbild des Perseus, die des 14. November von einem Punkt im Sternbild des Löwen), aber man kennt durch die unausgesetzten Beobachtungen von Heis und andern solcher Strahlungspunkte jetzt schon so viele, die ziemlich gleichmäßig über den ganzen Himmel vertheilt sind, daß in Wirklichkeit doch eine ziemlich gleichförmige Vertheilung der Sternschnuppen am Himmel stattfindet, ja man kann sagen eine sehr gleichförmige, wenn man die zahlreichen Schwärme jener zwei Monate außer Berechnung läßt. Coulvier-Gravier in Paris und Schmidt in Athen haben aus einer großen Zahl von Beobachtungen das übereinstimmende Resultat abgeleitet, daß im Mittel für jeden Tag eine Zunahme der stündlichen Zahl von Sternschnuppen von Abends bis Morgens etwa 3 Uhr stattfindet, nachher wieder eine Abnahme. Bedenkt man, daß bei größerer Helligkeit die Schwierigkeit der Beobachtung zunimmt und daß Morgenbeobachtungen in der Regel größere geistige Anstrengung verlangen, so stimmt jenes Resultat gut mit dem oben angeführten; die Zahlen selbst geben aber noch einen weitern Anhaltspunkt zur Beurtheilung der Geschwindigkeit der Asteroiden.

Zunächst ist klar, daß, wenn die Erde sich rascher

bewegen würde, als die Asteroiden im Mittel, Abends nahezu gar keine Sternschnuppen gesehen würden, weil die Erde in Folge dieser größern Geschwindigkeit von den auf ihrer Rückseite befindlichen kleinen Körpern selbst dann sich entfernen würde, wenn diese gleich gerichtete Bewegung hätten, wie ein Nachen, der sich flußabwärts unter vom Fluß getragenen Eisschollen rascher als der Wasserstrom bewegt, nur vorn Stöße auszuhalten hat, nicht hinten. Haben dagegen die Asteroiden die raschere Bewegung, so treffen sie die Erde auch auf ihrer Rückseite. Man denke sich einen großen Hafen, in welchem sich eine beträchtliche Zahl von größern und kleinern Schiffen regellos durcheinander bewegt, und inmitten dieser ein Boot, das in bestimmter, gleichbleibender Richtung fortfährt: fährt es schnell, so wird zur Vermeidung eines Zusammenstoßes mit einem andern Fahrzeug hauptsächlich nach vorne die Aufmerksamkeit zu richten sein, fährt es langsam, so ist die Gefahr einen Stoß zu erhalten offenbar hinten größer. Da wir nun wissen, daß Abends am wenigsten Sternschnuppen gesehen werden, so muß die Erde langsamer sich bewegen als die Asteroiden, wenigstens im großen Durchschnitt. Die gleichmäßige Zu- und Abnahme der Zahl der Sternschnuppen im Laufe der Nacht macht es aber sogar möglich, mit großer Wahrscheinlichkeit die mittlere Geschwindigkeit der Asteroiden zu bestimmen, und man fand sie ungefähr anderthalbmal so groß als die der Erde, nicht ganz 6 Meilen: d. h. die Geschwindigkeit, mit welcher die Asteroiden die Erdbahn treffen, ist sehr nahe dieselbe, mit welcher die Kometen in der Nähe der Erdbahn sich bewegen.

Wir sind sonach berechtigt, auch von den Asteroiden, wie von den Kometen zu behaupten, daß sie nicht von Anfang an dem Sonnensystem angehört haben, sondern von außen in dasselbe eingedrungen sind, und wir können auf sie alle die Schlüsse anwenden, die wir früher bei den Kometen gezogen haben, ja mit noch mehr Recht, da die Sichtbarkeit der Asteroiden noch viel beschränkter ist, als die der Kometen, weil sie ein Eintreten in die Atmosphäre der Erde verlangt. Wir dürfen also sagen, daß nur ein sehr kleiner Theil der in unser Sonnensystem gelangenden uns sichtbar wird, nämlich derjenige, welcher außerhalb eine sehr kleine Geschwindigkeit in Beziehung auf die Sonne hatte.

Denken wir uns ursprünglich den ganzen Weltraum außer mit Fixsternen und ihren Planeten noch mit kleinen Körpern, Asteroiden, angefüllt, so wird augenblicklich ein Theil, nämlich die jedem Fixsternsystem nächsten, in bestimmten Bahnen innerhalb derselben sich bewegen, ein anderer Theil wird erst nach längerer Zeit einem bestimmten Fixsternsystem sich zugewendet haben, nämlich alle diejenigen, welche keinem Fixstern besonders nahe, sondern zwischen einer größern Zahl so eingeschlossen waren, daß eine fortdauernde, gleichbleibende Einwirkung auf sie nicht stattfinden konnte. Es ist denkbar, daß lange Zeiträume vergehen, ehe auch sie sich einem bestimmten Fixsternsystem anschließen, und es wird in dieser Zeit ihre gegenseitige Anziehung größer sein, als die Einwirkung der Fixsterne ringsum. Die Folge wird sein, daß sie sich langsam zu einer größern Menge auf kleinerem Raume ansammeln und dann gemeinschaftlich ihre Wanderung antreten,

Wir wollen annehmen, eine solche Ansammlung von Asteroiden gelange in unser Sonnensystem und in die Nähe der Erde, und habe Anfangs ungefähr die Form einer Kugel. Alle einzelnen Körper bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit und in gleicher Richtung, und beschreiben unter dem Einfluß der Anziehung der Sonne Ellipsen, deren einer Brennpunkt die Sonne ist. Im Allgemeinen wird jeder eine andere Ellipse beschreiben, weil jeder eine andere Lage zur Sonne hat, aber die Verschiedenheit wird nicht groß sein, weil die Ausdehnung der Kugel im Verhältniß zur Entfernung der Sonne doch nur eine kleine ist.

Um eine bequemere Anschauung zu erhalten, wählen wir die Bahn des Asteroiden, der in der Mitte der ganzen Ansammlung liegt, als Mittel zur Orientirung: wir denken uns die Ebene dieser Bahn horizontal, sprechen der Kürze wegen von einem oben und unten in Beziehung auf diese Bahn, und — von der Sonne aus gesehen — von einem links und rechts in Beziehung auf die Mitte der Kugel; und betrachten nun der Reihe nach die zwei Punkte der Kugel, von denen der eine der Sonne am nächsten, der andere von ihr am entferntesten ist, dann den am weitesten links und den am meisten rechts liegenden und endlich den obersten und untersten Punkt.

Figur 21 gibt eine Vorstellung der zwei Ellipsen, welche der in Beziehung auf die Sonne nächste und entfernteste Punkt beschreiben. Sie liegen beide in unserer horizontalen Ebene, weil die Richtung ihrer Geschwindigkeit, wie die des mittlern Punkts horizontal ist und weil beide in der Horizontalebene liegen. Ihre Bahnen werden sehr wenig verschieden sein, viel weniger als die Figur

zeigt, die sich den wirklichen Maaßen kaum anpassen läßt. Denn wenn die Asteroiden von einer Gegend kommen sollen, wo die Anziehung der Sonne über die der andern Fixsterne kaum überwiegt, so ist 1000 Sonnenweiten (Entfernungen der Sonne von der Erde) das mindeste, was wir für die ursprüngliche Entfernung annehmen dürfen, während die Sonnennähe nicht mehr als eine Sonnenweite betragen darf, wenn uns die Asteroiden als



Fig. 21.

Sternschnuppen sichtbar werden sollen. Nehmen wir dann für den Halbmesser der Kugel auch eine Sonnenweite, so sind die Sonnenfernen der zwei Bahnen doch nur um ein Fünfhundertel verschieden. Da aber die Geschwindigkeiten in der Sonnenferne gleich sind, so werden sie, weil die Bahndimensionen so wenig verschieden sind, auch in der Sonnennähe nahe gleich sein, und folglich, da die Flächengeschwindigkeiten nach dem zweiten Kepler'schen Gesetz gleich bleiben, auch die Sonnennähen nur um ein Fünfhundertel verschieden sein; das heißt: die zwei Punkte nähern sich von der Sonnenferne bis zur Sonnen-

nähe auf den fünfhundertsten Theil ihrer ursprünglichen Entfernung. Denken wir uns den Durchmesser der Kugel, der durch die Sonne geht, mit lauter Asteroiden bedeckt, so gehen alle nahe zu gleicher Zeit durch die Sonnennähe, aber sie sind auf den fünfhundertsten Theil ihrer Entfernung zusammengedrängt. In Wirklichkeit gehen die auf den engeren Bahnen sich bewegenden Asteroiden früher durch die Sonnennähe, so daß neben der Zusammendrängung senkrecht zur Bahn eine Ausbreitung in der Richtung der Bahn stattfindet.

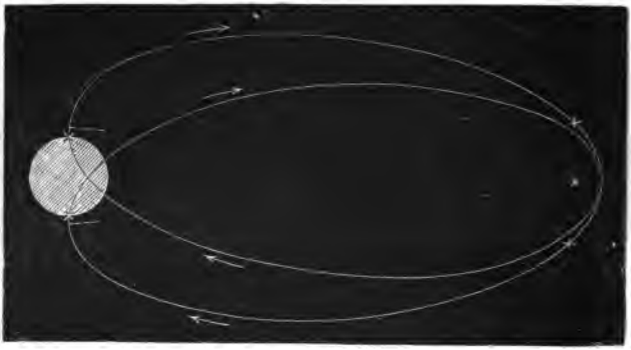


Fig. 22.

Die Figur 22 soll eine Vorstellung geben von der Bewegung der am weitesten links und rechts liegenden Asteroiden. Auch ihre Bahnen fallen in die horizontale Ebene, weil beide in dieser liegen und ihre Geschwindigkeiten wieder wie die des Mittelpunkts horizontal sind. Aber sie haben jetzt keine gemeinschaftliche Axe mehr, dagegen sind sie vollkommen gleich, symmetrisch zur Verbindungslinie der Sonne mit dem Kugelmittelpunkt ge-

legen. Wegen dieser Symmetrie ist der eine noch nicht in der Sonnenferne, während der andere schon jenseits derselben ist, da beide in gleichem Sinne ihre Bahn zurücklegen. In unserer Figur z. B. ist der Körper rechts noch nicht in der Sonnenferne, während der links liegende sie schon überschritten hat. Der Körper links wird also früher seine Sonnennähe erreichen als der rechts. Da aber der in derselben Zeit in der Sonnennähe zurückgelegte Bogen gegen 1000 Mal größer ist, als der in der Sonnenferne zurückgelegte, so wird der Unterschied ein sehr beträchtlicher sein. Nehmen wir an, daß die zwei Körper ursprünglich nur 1000 Meilen von ihrer Sonnenferne entfernt gewesen seien, was einem Durchmesser der Kugel von 1,000,000 Meilen entspricht, wie sich leicht zeigen läßt, der linke voraus, der rechte zurück, so sind sie in der Sonnennähe der erste um 1,000,000 Meilen voraus, der andere zurück; und denkt man sich den gegen die Richtung zur Sonne senkrechten Durchmesser ganz mit Asteroiden besetzt, so zerstreuen sich diese längs der Bahn von der ursprünglichen Länge von 1,000,000 auf eine von 2,000,000 oder auf das Doppelte, und zugleich sind die Körper der Kugel, welche vorher zurück waren, jetzt voraus, und umgekehrt.

Figur 23 endlich zeigt die Bahnen des obersten und untersten Asteroids; beide sind wieder gleich, weil die Körper gleich weit von der Sonne abstehen, liegen aber nicht in der Horizontalebene, sondern die eine oben, die andere unten. Die Figur zeigt sie von der Seite gesehen, so daß sie als gerade Linien erscheinen. In der Nähe der Sonne tritt die eine Bahn unter, die andere über die

Horizontalebene; da aber die Sonnennähe wieder etwa nur ein tausendstel der Sonnenferne beträgt, so werden offenbar die auf einem zur Horizontalebene senkrechten Durchmesser liegenden Asteroiden wiederum auf etwa den tausendsten Theil ihrer Entfernung zusammengedrängt.

Fassen wir die drei Fälle zusammen, so ergibt sich, daß die in der Sonnenferne kugelförmige Ansammlung eine wesentlich andere Gestalt in der Sonnennähe gewinnt, sie zieht sich in allen Richtungen senkrecht zur Bahn sehr beträchtlich zusammen, dehnt sich aber in der Richtung der Bahn etwa auf das Doppelte aus, die Kugel erhält die Form eines Seils, dessen Dichtigkeit be-

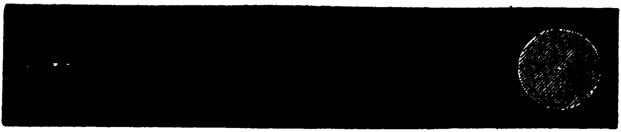


Fig. 23.

trächtlich größer ist als die ursprüngliche. Die Länge des Seils wird natürlich wesentlich von der ursprünglichen Entfernung und den Dimensionen der Kugel abhängen und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß wir seit Jahrhunderten beobachtete Sternschnuppenschwärme aus dem jährlichen Durchgang unserer Atmosphäre durch ein ungemein lang erstrecktes, aus einer großen Kugel Asteroiden in großer Entfernung entstandenes, allmählich sich verschiebendes Asteroidenseil erklären können. Kehren die Asteroiden wieder zu ihrer Sonnenferne zurück, so sollte man denken, daß der ursprüngliche Zustand wieder eintrete, weil ja jeder Körper, der vermöge der Anziehung

der Sonne um diese eine Ellipse beschreibt, nach bestimmter Zeit wieder in seine Anfangslage zurückkehrt. Aber dem arbeiten zwei Dinge entgegen: einmal werden die der Sonne nächsten Asteroiden immer kleinere Umlaufszeiten haben, als die entferntern, also diesen beständig vorauseilen und das Seil verlängern, und dann wirkt, wenn einmal die Asteroiden zu stark genähert sind, ihre gegenseitige Anziehung in der Art, daß sie einer Wiederentfernung in der Sonnenferne im frühern Grad entgegenwirken. Es wird also aus dem Seil nicht wieder eine Kugel werden, sondern jedenfalls nur eine in Richtung der Bahn gestreckte Ansammlung und der nächste Durchgang durch die Sonnennähe wird also ein noch längeres Seil liefern und so fort, bis schließlich die ganze Bahn gleichmäßig mit Asteroiden erfüllt ist, bis ein Asteroidenring entstanden ist.

War die ursprüngliche Ansammlung keine Kugel, so bildet sich ein an verschiedenen Stellen verschieden dickes Seil, da unter allen Umständen eine Abnahme der Querdimensionen in beträchtlichem Grad und eine Zunahme der Längsdimensionen stattfinden muß. Aber nach mehreren Umläufen wird sich auch diese Unregelmäßigkeit mehr und mehr ausgleichen und ein Asteroidenring von nahe gleichen Querdimensionen sich bilden. Ferner ist nicht zu bezweifeln, daß die Bahnen der Asteroiden bei der vielfach möglichen Begegnung mit Planeten nicht selten werden abgeändert werden in der Art, daß sie nicht mehr außerhalb des Sonnensystems zurückkehren oder auch dasselbe für immer verlassen. Im ersten Fall kann ein Asteroidenring sich bilden, der beständig innerhalb des

Sonnensystems bleibt. Ein solcher scheint dem Sternschnuppenschwarm des November zu Grund zu liegen. Alle Jahre in der Nacht vom 13. zum 14. November zeigt sich eine verhältnißmäßig große Zahl von Sternschnuppen, eine überaus große Menge aber etwa alle 33 Jahre, so im Jahr 1800, in den Jahren 1833 und 1834, dann in der neuesten Zeit in den Jahren 1866, 1867 und 1868. Aus ihrer durchschnittlichen Geschwindigkeit, aus der Richtung, von der sie kommen (ein Punkt im Löwen) und aus der Umlaufszeit von 33¼ Jahren hat man geschlossen, daß sie durch einen Asteroidenring verursacht werden, welcher in jener Nacht von der Erde getroffen wird und bis zur Uranusbahn reicht. Wenn drei Jahre nach einander die glänzende Erscheinung gesehen wurde, so folgt, daß etwa der 10te Theil der Bahn dicht mit Asteroiden besetzt ist. Mit der Zeit wird sich die Masse immer mehr vertheilen, die auffallenden Erscheinungen zeigen sich häufiger, aber immer weniger glänzend und schließlich wird jeden November nahe dieselbe Sternschnuppenzahl gesehen werden.

Auf dieser Stufe der Entwicklung ist schon jetzt der Augustschwarm angekommen: die Zahl der Sternschnuppen am 10. August ist größer, als an sonstigen Tagen, aber nicht wesentlich verschieden von einem Jahr zum andern. Es ist nicht wahrscheinlich, daß wir eine große Zahl solcher Ringe kennen lernen, da wir sie eben nur beobachten können, wenn sie sich der Erde sehr bedeutend nähern, so weit, daß sie theilweise wenigstens durch die Erdatmosphäre gehen. Es können sehr viele Schwärme von Asteroiden im Sonnensystem sich bewegen, die uns

wegen ihrer Entfernung beständig unsichtbar bleiben. Das Merkwürdigste aber, was sich bei diesen Untersuchungen herausgestellt hat, ist, daß die Asteroidenschwärme in Bahnen sich bewegen, auf welchen auch Kometen wandeln. Schiaparelli hat nachgewiesen, daß ein 1862 erschienener Komet dieselbe Bahn hat wie der Augustschwarm und ein 1866 erschienener dieselbe wie der Novemberschwarm, und Hoek in Utrecht hat gefunden, daß drei Kometen, die in den Jahren 1860 und 1863 erschienen sind, im Jahr 760 unserer Zeitrechnung sehr nahe bei einander waren, so daß sie um nicht mehr als eine dreifache Sonnenbreite von einander entfernt erschienen wären, wenn man sie hätte sehen können. Wahrscheinlich gehören die Kometen von 1677 und 1683 auch noch zu diesen drei, so daß man einen kleinen Kometenschwarm hätte, der sich ganz gleich wie ein Asteroidenschwarm verhielte. Kometen und Asteroiden sind nichts verschiedenes, ein Komet ist entweder ein Theil eines Asteroidenrings, eine besonders dichte Ansammlung kleiner Körper, oder ist er das Ursprüngliche, aus welchem sich durch Auflösung ein Asteroidenring bildet. Das erste würde am besten die sonderbaren Eigenschaften der Kometen erklären, wie sie oben geschildert wurden, und die man schon lange darin zusammenfaßte, daß dieselben eine staubartige Masse seien, d. h. eben eine Ansammlung einzelner kleiner Körper'; das zweite würde der Erfahrung entsprechen, daß der Glanz wiederkehrender Kometen abnimmt, daß Kometen sich zertheilen und im Allgemeinen ihrer Auflösung entgegenzugehen scheinen. Der geringe Zusammenhang der Kometen und der Asteroid-

ansammlungen in Verbindung mit ihrer Anziehung durch die Planeten und die Sonne wird schließlich die einzelnen Theile zerstreuen: wie die Erde eine Anzahl als Meteorsteine gewinnt, so werden auch die andern Planeten einzelne sich einverleiben und am meisten offenbar wird der größte der Planeten, noch unverhältnißmäßig mehr die an Masse alle Planeten so bedeutend überwiegende Sonne erhalten. Dr. Mayer hat darin eine Ursache erkannt, welche die der Sonne durch Ausstrahlung verloren gehende Wärme wieder ersetzt.

---

4. Die Sonne als Wärmequelle.

Es ist ein Gedanke, der sich uns schon als Kindern aufdrängt und der sich mit der Zeit immer mehr in uns befestigt, daß die Sonnenwärme nothwendige Bedingung alles Lebens sei, daß die Pflanze ohne sie nicht gedeihen, daß Thier und Mensch ohne sie nicht existiren kann. Alle Jahre beim Eintritt des Winters werden wir daran erinnert, und so oft wir, sei es in Wirklichkeit, sei es in der Phantasie, in den hohen Norden oder auf die Spitze schneebedeckter Berge wandern, drängt sich uns diese Ueberzeugung auf. Aber nicht blos das organische Leben, überhaupt jede Bewegung, welcher Art sie sei, ist ohne Sonnenwärme nicht möglich: eine Reihe von Gedanken, die Jedermann zugänglich, aber den wenigsten geläufig sind, kann uns davon überzeugen. Stellen wir uns an ein Wasserrad, welches der vorbeieilende Bach oder der

strömende Fluß in Bewegung setzt, und sehen wir rückwärts, woher das Wasser kommt: wir finden den Quell, der das als Regen herabgefallene und vom Boden aufgenommene Wasser sammelt. Den Regen verdanken wir den Wolken, und die Wolken hat uns der Wind von den Meeren und Seen her zugeführt. Wind und Wolken aber hat die strahlende Wärme der Sonne geschaffen, indem sie Wasser und Land verschieden erwärmt, und indem sie an der Oberfläche des Wassers den Wasserdampf bildet, welcher sich in die kühleren Höhen hebt, um niedergeschlagen das zu bilden, was wir Wolken nennen. Die Sonnenwärme hebt das Wasser, damit es von den Höhen der Erde, wo sich die Wolken am liebsten sammeln, wieder ins Meer zurückfließen könne, damit es unterwegs die Wasserräder drehen könne; die Sonnenwärme ist die letzte Ursache des Kreislaufs des Wassers auf Erden und damit aller der Erscheinungen, welche wir unter dem Namen des Wetters zusammenfassen und der Meteorologie zuweisen.

Vielleicht könnte man erwidern, es ließen sich auch ohne fließendes Wasser die vielfältigsten Bewegungen ausführen: wir stellen eine Dampfmaschine auf und rufen den chemischen Proceß der Verbrennung zu Hilfe, um Wasser zum Sieden zu bringen, bis der Druck des entstehenden Dampfes den Kolben im Cylinder vorwärts preßt. Aber schauen wir auch hier weiter rückwärts: woher stammt das Brennmaterial, ohne welches jener chemische Proceß nicht denkbar ist? Sei es Holz oder Kohle, immer haben Licht und Wärme der Sonne es möglich gemacht, daß Zelle an Zelle sich anreihte, bis der

Baum fertig war, der uns das Holz oder die Kohle liefert. Wälder und Steinkohlenfelder sind Vorrathskammern von Wärme, wir locken aus ihnen die vor Jahren oder Jahrtausenden in sie niedergelegte Sonnenwärme, heizen damit unsere Dampfmaschinen und zwingen diese zu beliebiger Arbeit.

Wenn wir den Arm heben, so geschieht es unter dem Einfluß des Willens, aber der Wille allein reicht nicht aus. Die Physiologen haben schon lange nachgewiesen, daß die Muskelbewegung, welche zur Hebung des Arms nothwendig ist, daß überhaupt jede Muskelbewegung Wärme verzehrt. Fortgesetzte Bewegung entzieht uns immer mehr Wärme und schließlich würde jede Bewegung unmöglich, wenn wir nicht auf Wärmezufuhr Bedacht nähmen: dies geschieht durch Aufnahme von Speise, die im Körper verarbeitet wird, also von organischen Producten, welche Sonnenlicht und Sonnenwärme herangezogen und gereift hat.

Wenn in den beiden letzten Beispielen der Ausspruch, daß die Sonnenwärme unsere Dampfmaschinen heizt, daß sie den Menschen ernährt, vielleicht nur bildlich verstanden wurde, nicht wörtlich, so ist dem nicht viel entgegenzusetzen, da die Entstehung und Bildung organischer Körper im Einzelnen noch nicht klar vorliegt. Anders ist es bei dem ersten Beispiel vom Kreislauf des Wassers: daß durch Zuführung von Sonnenwärme das Wasser zum Verdunsten gebracht wird, daß dabei die Erwärmung der Luft geringer ist, als wenn kein Wasser da, also keine Verdunstung möglich ist, weiß Jedermann: es ist folglich Wärme verschwunden, und dagegen aus dem Wasser ein

Gas gebildet worden, welches die Kraft besitzt, in der Atmosphäre in die Höhe zu steigen. Wasserdampf und Wasser sind nur verschiedene Formen der Erscheinung desselben Dings, desselben Stoffs: beide können gleiche Temperatur haben, aber dem Dampf ist mehr Hitze zugeführt worden; dieser Ueberschuß an Wärme existirt jedoch nicht mehr als solche, er äußert sich als große Beweglichkeit des Dampfes in dessen Bestreben nach allen Seiten hin sich auszudehnen. Es muß also eine unmittelbare Beziehung zwischen Bewegung und Wärme bestehen und vielleicht gibt ein anderes Beispiel diese Beziehung noch deutlicher. Eine Flintenkugel fliegt gegen eine Mauer, sie wird platt gepreßt und fällt matt zu Boden: wir heben sie auf, behalten sie aber nicht in der Hand, sie brennt uns. Woher rührt diese Erwärmung? Wenn die Kugel gegen die Mauer stößt, verliert sie plötzlich ihre Geschwindigkeit, sie wird im Innersten erschüttert, das Zittern der kleinsten Theile dauert längere Zeit fort: und wenn wir sie in die Hand nehmen, erhalten unsere Nerven eine Erregung durch dieses Zittern, wir haben das Gefühl der Wärme. Noch ehe die Mauer erreicht wird, hat sich die Kugel schon ein wenig erwärmt, sie hat Widerstand in der Luft gefunden, ihre Bewegung hat abgenommen und dafür ist Wärme aufgetreten. Nachdem die Mauer getroffen war, ist nicht die ganze noch übrige Bewegung auf Erwärmung verwendet worden. Wir hören die Kugel aufschlagen d. h. ein Theil der verschwundenen Bewegung wurde in Bewegung der nächstliegenden Lufttheilchen verwandelt, und die hin- und hergehende Bewegung derselben, mit Verdichtung und Ver-

dünnung verbunden, hat auf unser Ohr den Eindruck eines Schalls gemacht. Kann man daran zweifeln, daß der Schall, mit welchem die Kugel aufschlägt, die Umwandlung eines Theils der ursprünglichen Bewegung der Kugel in Bewegung der Luft ist? Wenn nicht, ist es dann nicht sehr wahrscheinlich, daß, was wir Gefühl der Wärme nennen, eben auch von einer Bewegung kleiner Theile herrührt, einer Umwandlung der ursprünglichen Bewegung der Kugel? Wir sehen freilich diese Bewegung nicht, aber wir sehen ja auch die Bewegung der Lufttheilchen nicht, welche den Schall hervorbringen.

Der Satz, daß Bewegung und Wärme äquivalent seien, daß das Eine aus dem Andern entstehen könne, und daß mit einer bestimmten Menge Bewegung immer eine bestimmte Menge Wärme und umgekehrt erzeugt werden könne, rührt bekanntlich von Dr. Mayer her. Er hat ihn insbesondere verwendet, um einen Einblick in den Haushalt unseres Sonnensystems zu thun. Jede Wärmequelle erschöpft sich mit der Zeit; wenn der ganze vorhandene Stoff den chemischen Proceß, den wir als Verbrennen bezeichnen, durchgemacht hat, so hört der Proceß und damit die Wärmeentwicklung auf, wenn nicht neuer Stoff, neues Heizmaterial zugeführt wird; handelt es sich aber um Ausstrahlung eines glühenden Körpers, so ist von selbst klar, daß dessen Temperatur eben in Folge der Ausstrahlung beständig abnimmt. Unter allen Umständen muß also, wenn eine Wärmequelle beständig fortwirken soll, ein immer neuer Ersatz stattfinden, der gerade so viel zuführt, als Wärme verloren geht.

Die Wärmemenge, welche gegenwärtig die Erde von

der Sonne erhält, läßt sich im großen Ganzen bestimmen, wenn man Versuche macht, wie viel Wasser über einer gegebenen Fläche und wie stark es durch die Sonne erwärmt wird. Es hängt diese Erwärmung von der Höhe der Sonne über dem Horizont und von der Dauer des Tags ab, wenn man die Beobachtung auf einen Tag ausdehnt; da wir aber wissen, wie beide im Laufe des Jahres sich ändern und in welcher Weise sie die Erwärmung bedingen, so hat es keine Schwierigkeit zu berechnen, wie groß überhaupt die Wärmemenge ist, welche die Erde im Laufe eines Jahres von der Sonne erhält. Man hat gefunden, daß dieselbe genügen würde, um eine etwa 30 Meter dicke Eisschichte, welche die ganze Erdoberfläche überzieht, abzuschmelzen, wenn sie über die ganze Erde gleichmäßig vertheilt wäre. Da nun, um ein Kilogramm Eis zu schmelzen, nahe so viel Wärme nöthig ist, als um die Temperatur von 80 Kilogramm Wasser um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers zu erhöhen, so kann man auch sagen, die von der Sonne in jeder Minute der Erde zugesandte Wärme sei im Stande 5½ Kubikmeilen Wasser um einen Grad in der Temperatur zu erhöhen.

Unsere Erde erhält jedoch nur einen kleinen Theil der von der Sonne ausgesandten Wärme. Von der Sonne aus gesehen erscheint die Erde am Himmel als kleine Scheibe, deren sich 2300 Millionen am ganzen Himmel anbringen ließen, wenn kein Zwischenraum zwischen den einzelnen Scheiben bliebe: das heißt die ganze Wärmemenge, welche die Sonne ausstrahlt, ist 2300 Millionen mal so groß als diejenige, welche die Erde enthält, oder sie kann 12,650 Millionen Kubikmeilen Wasser — ein

Volumen, das etwa 5mal so groß ist als das der Erde — in jeder Minute um 1 Grad erwärmen.

Eine Verbrennung der Sonnenmasse kann diese Wärmemenge auf die Dauer nicht liefern, denn wenn man ein Kilogramm des besten Heizmaterials verbrennt, kann man damit auch unter den allergünstigsten Umständen nur etwa 6000 Kilogramm Wasser um einen Grad erwärmen. Würde die Sonne aus einem derartigen Stoffe bestehen, dem irgend woher der zum Verbrennen nöthige Sauerstoff zugeführt würde in der Art, daß gerade so viel Wärme sich entwickelte, als die Sonne gegenwärtig liefert, so wäre die ganze Kugel in 46 Jahrhunderten verbrannt. Es müßte also schon in historischen Zeiten entweder eine merkliche Abnahme der Sonnentemperatur stattgefunden haben, was mit den Nachrichten der Alten über Klima und Fruchtbarkeit vieler Landstriche nicht übereinstimmt, oder es müßte der Umfang der Sonne beträchtlich abgenommen haben, was deswegen unmöglich ist, weil dann z. B. die Sonnen- und Mondfinsternisse ganz anderer Art gewesen sein müßten, als die Nachrichten der Alten sagen. Wir müssen also nach anderen Ursachen suchen, um einen Ersatz für die enormen Wärmemengen zu finden, welche die Sonne abgibt.

Es sind uns zwei solche Ursachen bekannt, welche beide auf Umwandlung der Bewegung in Wärme beruhen. Als die Massen unseres Sonnensystems in einem nebelartigen sich um eine Axe drehenden Gasball zerstreut waren, wirkte die Anziehung zwischen den einzelnen Theilen in der Art, daß das Ganze auf kleinern Raum sich zusammenzog. Dabei wurde der Raum, in welchem

sich jeder Atom bewegen konnte, kleiner, es mußten, je mehr dies stattfand, desto mehr einzelne Theile auf einander stoßen und dabei ihre Bewegung in Wärme verwandeln, d. h. zugleich mit der Verdichtung mußte eine Temperaturzunahme stattfinden, wie das immer der Fall ist, wenn wir auf mechanischem Wege einen Körper auf ein kleineres Volumen bringen. Die Sonne als Kern des Ganzen verdichtete sich am längsten und verlor bei ihrer Größe verhältnißmäßig am wenigsten durch Ausstrahlung, daher ist ihre Temperatur die höchste im ganzen System. Dauert diese Verdichtung noch fort, so ist sie eine beständige Quelle des Ersatzes verbrauchter Wärme. Helmholtz berechnet, daß bei dem jetzigen Verlust durch Ausstrahlung eine Verkleinerung des Sonnenhalbmessers um den zehntausendsten Theil für mehr als 2000 Jahre genügen würde, um jenen Verlust zu decken. Eine solche Verkleinerung kann aber eintreten, ohne daß auch die besten unserer jetzigen Instrumente sie zu messen gestatten, so daß wir aus der Nichtbeobachtung einer Verkleinerung der Sonnenscheibe nicht schließen dürfen, daß sie nicht in einer Weise stattfinde, welche auf lange den Wärmeverlust der Sonne deckt.

Eine zweite Ursache ist das Einstürzen der Asteroiden in die Sonnenmasse. Wenn Sternschnuppenfälle bei uns nicht selten sind, wenn fremde Körper als Meteorsteine zur Erde gelangen und mit ihr verbunden bleiben, so wird dasselbe auch bei den andern Körpern des Sonnensystems der Fall sein und im höchsten Grade bei denjenigen, welche die größte Masse haben, also am allermeisten bei der Sonne. Zugleich ist zu bedenken, daß

die Asteroiden mit sehr bedeutenden Geschwindigkeiten, 50 Meilen und mehr, an die Oberfläche der Sonne gelangen. Die beim Stoß sich entwickelnde Wärmemenge wächst aber wie das Quadrat der Geschwindigkeit, ist 4 oder 9 oder 16 mal so groß, wenn die Geschwindigkeit auf das 2fache oder 3fache oder 4fache steigt. Ein Kilogramm Kohle, wenn es mit einer Geschwindigkeit von 50 Meilen die Sonnenoberfläche trifft, entwickelt etwa 4000 mal so viel Wärme, als wenn es verbrennt, so daß kein Zweifel sein kann, daß in solchen Zusammenstößen eine reichliche Quelle zum Ersatz der ausgestrahlten Wärme liegt.

Es ist sicher, daß diese zwei Ursachen genügen, um den fortwährenden Ersatz der durch Ausstrahlung verloren gegangenen Wärme zu erklären, und wir sind somit berechtigt, anzunehmen, daß die Sonne ein glühender Körper sei, in welchem die in Folge der Verdichtung angehäufte Wärmemenge allmählich durch Ausstrahlung verbraucht, aber auch wieder durch Einstürzen fremder Massen und weitere Verdichtung großentheils ersetzt wird. Diese Anschauung ist eine verhältnißmäßig neue; noch vor wenig Jahren wurde nach Herschel's Vorgang die Sonne als dunkler Körper betrachtet, umgeben von einer der unserigen ähnlichen Atmosphäre und oberhalb derselben von einer Licht und Wärme ausstrahlenden Photosphäre. Herschel kam zu dieser Ansicht durch seine Erklärung der Sonnenflecken.

Betrachtet man die Sonne durch ein Fernrohr, vor dessen Ocular ein dunkles Glas gesetzt ist, um die Lichtstärke zu mäßigen, so sieht man in der Regel auf ihrer

Oberfläche größere oder kleinere vollkommen schwarze Flecken, umgeben von einem grauen Rand, theils einzeln, theils in Gruppen vereinigt (Fig. 24). Nach Herschel hat an der Stelle, wo der Sonnenfleck sich zeigt, die Photosphäre sich geöffnet, sie ist zerrissen, wie ein Wolkenschleier plötzlich sich theilt und den blauen Himmel durchblicken läßt. Durch die Oeffnung in der Photosphäre

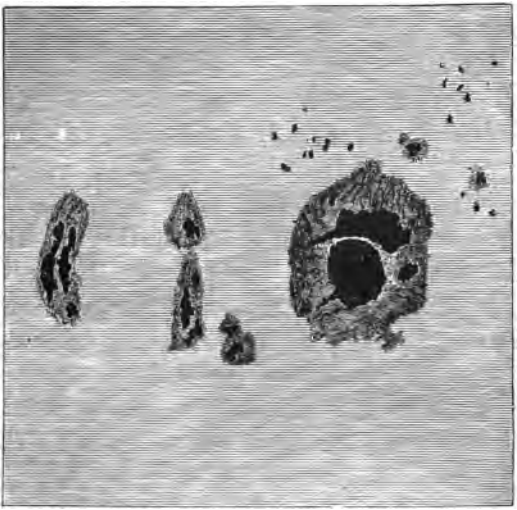


Fig. 24.

sieht man auf den dunklen Sonnenkörper und der graue Rand des Flecks ist derjenige Theil der sich nach unten erstreckenden Wand des Trichters, welcher in die eigentliche Atmosphäre der Sonne fällt. Diese Atmosphäre enthält Dämpfe und Wolken und hat in Folge dessen eine schwache von der Photosphäre herrührende Erleuchtung,

sieht daher grau aus, während der nicht beleuchtete Sonnenkörper dunkel erscheint. Verfolgt man längere Zeit — tagelang, vorausgesetzt, daß er so lange bestehen bleibt — einen Sonnenflecken, so findet man, daß er von der Mitte aus gegen den Rand allmählich seine Form ändert, indem er sich in der Richtung seiner Bewegung zusammenzieht. Diese Formänderung ist zum größten Theil eine scheinbare: so lange der Fleck in der Mitte der Scheibe ist, sehen wir senkrecht in den Trichter hinab, dreht sich aber die Sonne und mit ihr der Trichter, so blicken wir immer schiefer in das Innere, je näher der Fleck dem Rande kommt. Daher rührt es, daß die Sonnenflecken am Rand der Sonne sehr schmal sind und häufig ohne schwarzen Kern, weil die Oeffnung des Trichters nicht mehr gegen uns gerichtet ist, wir also den dunkeln Sonnenkörper nicht mehr erblicken können. Gelingt es einen Sonnenflecken längere Zeit zu beobachten, so läßt sich aus seiner Bewegung schließen, wie lange die Sonne zu einer Umdrehung um die Axe braucht. Man findet 25 bis 26 Tage und es scheint nach Allem, daß die Sonnenflecken nicht fest sind auf der Sonnenoberfläche, sondern ihre eigene Bewegung haben, die bald größer bald kleiner ist, so daß die genaue Zeit der Umdrehung der Sonne um ihre Axe noch nicht festgestellt ist.

Kirchhoff war der erste, der darauf aufmerksam machte, daß die Annahme Herschel's, ein dunkler Sonnenkörper sei von einer leuchtenden Photosphäre von ungemein hoher Temperatur umgeben, gegen unsere physikalischen Kenntnisse verstoße, also nach unserm ersten Grundsatz, daß im ganzen Weltraum dieselben Gesetze

gelten, zu verwerfen sei. Bei der bedeutenden Temperatur der Photosphäre müßte schon durch die strahlende Wärme der innere Kern nothwendig, wenn er auch vielleicht einmal starr und dunkel gewesen wäre, in kürzester Zeit zum Glühen und Schmelzen gekommen sein, und die zwischenliegende Atmosphäre kann kein Hinderniß gewesen sein, denn wenn sie schwach beleuchtet sein soll, so läßt sie das meiste Licht und wohl auch die meiste Wärme durch. Viel einfacher und den Erfahrungen entsprechender ist daher die Annahme, daß von Anfang an die Sonne ein glühender Körper gewesen sei, der mit einer Atmosphäre glühender Dämpfe umgeben ist. Es erklärt sich damit, wie wir oben (S. 26) gesehen, die Existenz der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum, und wie Kirchhoff gezeigt hat, auch die Entstehung der Sonnenflecken. „Wie in unserer Atmosphäre, so werden auch in der Sonnenatmosphäre lokale Temperaturerniedrigungen Veranlassung zur Bildung von Wolken geben, nur werden die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von unsern Wolken verschieden sein. Hat sich eine Wolke gebildet, so werden alle über derselben liegenden Theile der Atmosphäre abgekühlt werden, weil ihnen ein Theil der Wärmestrahlen, welche der glühende Sonnenkörper ausstrahlt, durch die Wolken entzogen wird. Diese Abkühlung wird um so bedeutender sein, je dichter und größer die Wolke ist und dabei erheblicher für diejenigen Punkte, welche nahe über der Wolke liegen, als für die höhern. Eine Folge davon muß sein, daß die Wolke mit beschleunigter Geschwindigkeit von oben her anwächst und kälter wird. Ihre Temperatur sinkt unter die Glühhitze, sie

wird undurchsichtig und bildet den Kern eines Sonnenfleckens. Aber auch noch in beträchtlicher Höhe über dieser Wolke findet Temperaturerniedrigung statt, welche unter günstigen Umständen die Bildung einer zweiten Wolke bewirken kann, die weniger dicht, als die untere ist. Diese zweite, theilweise durchsichtige Wolke wird, wenn sie eine hinreichende Ausdehnung gewonnen hat, den grauen Rand um den Kern des Sonnenfleckens bilden."

Diese Darstellung Kirchhoff's harmonirt so gut wie Herschel's Trichtertheorie, mit der allmählichen Formänderung der Flecken, wenn sie sich dem Rande der Sonnenscheibe nähern, und sie erklärt wohl noch besser als die Herschel's die stürmische Bewegung der Sonnenflecken, sowie deren Beschränkung auf eine nicht weit vom Sonnenäquator sich entfernende Zone. Wie auf der Erde die mächtigsten Stürme und die Bildung der dichtesten Wolken an die heiße Zone zu beiden Seiten des Aequators gebunden sind, so scheint dies aus ähnlichen Ursachen auch auf der Sonnenoberfläche zu sein; jedenfalls spielt die Axendrehung eine Rolle dabei. Der fleißigste Beobachter und erste Kenner der Sonnenflecken, Spörer in Anclam, hat sich für Kirchhoff's Theorie ausgesprochen.

Die Sonnenflecken zeigen in Beziehung auf ihre Häufigkeit regelmäßige Perioden von 10 bis 11 Jahren, wie Schwabe in Dessau zuerst nachgewiesen hat. In den Jahren der größten Häufigkeit (ein solches ist 1871) gibt es keinen Tag, an dem nicht Sonnenflecken zu beobachten wären, zur Zeit der Seltenheit dagegen gibt es jährlich mehr als 100 fleckenfreie Tage. Von großer Bedeutung für die Erklärung uns in ihrer Entstehung

noch ganz unbekannter Erscheinungen kann es werden, daß Sabine eine genaue Uebereinstimmung des Wechsels der Häufigkeit der Sonnenflecken mit den Aenderungen des Erdmagnetismus und den damit zusammenhängenden Schwankungen der Magnetnadel, Wolf einen übereinstimmenden Wechsel in der Häufigkeit der Nordlichter nachgewiesen hat. Dagegen hat sich Arago vergebliche Mühe gegeben, einen Zusammenhang zwischen Wetter und Sonnenflecken herauszufinden. In der neuesten Zeit hat die Spectralanalyse begonnen, die Sonnenflecken zu untersuchen, und wir dürfen wohl von ihrer Seite am ehesten nähern Aufschluß erwarten.

Außer den Sonnenflecken zeigen sich auf der Sonnenoberfläche noch sogenannte Sonnenfackeln, hellere Stellen gegenüber der sonst ziemlich gleichmäßigen Lichtstärke, auf der ganzen Oberfläche hin vertheilt, und am Sonnenrande die Protuberanzen. Die letztern namentlich sind gegenwärtig ein Lieblingsgegenstand der Spectralanalyse und zeigen vielleicht mehr, als irgend etwas Anderes, wie mächtig die durch die Spectralanalyse uns dargebotenen Mittel ausgebeutet werden können. Schon seit Jahren hatte man die Beobachtung bei totalen Sonnenfinsternissen gemacht, daß im Augenblick der totalen Verfinsterung an den verschiedensten Seiten des Sonnenrandes verschieden gestaltete Hervorragungen mit röthlicher Farbe aufleuchteten. Die genaue Beobachtung und Abbildung derselben wurde durch die Kürze der Totalität jeder Sonnenfinsterniß ungemein erschwert, um so mehr, da totale Sonnenfinsternisse nicht zu häufig eintreten. Die Finsterniß vom 18. August 1868 zeigte, daß diese Pro-

tuberanzen Wasserstoffflammen sind, denn ihr Spectrum enthält die drei charakteristischen Linien in Roth, Gelb und Blau, welche den Wasserstoff auszeichnen. Schon am Tage nach der Finsterniß gelang es Janssen, auch ohne Finsterniß die Protuberanzen zu beobachten, indem er die Spalte des Spectroskops längs des Rands der Sonne herumführte. Sorgt man dafür, daß das Bild der Sonne in einem Fernrohr auf irgend eine Weise, aber nur bis zum Rande hin, stets bedeckt bleibt, so sollte man glauben, man werde nun die Protuberanzen sehen können, welche unter den gewöhnlichen Umständen vor der Intensität des Sonnenlichts verschwinden. Aber wenn wir auch das directe Sonnenlicht abhalten, so ist die Beleuchtung unserer Atmosphäre durch das unregelmäßig zerstreute Licht noch intensiv genug, um die schwach leuchtenden Protuberanzen unkenntlich zu machen. Wendet man dagegen das Spectroskop an, insbesondere eines mit stark zerstreuenden Prismen, so wird das schädliche Tageslicht, das durch den Spalt geht, auf einen sehr großen Raum zerstreut, also an jeder Stelle sehr wenig intensiv sein; das Licht der Protuberanz dagegen vertheilt sich nur auf drei Linien, deren Licht, weil einfarbig, nicht zerstreut wird, und von diesen drei Linien ist die rothe wieder die intensivste. Es wird also das meiste Licht, welches die Protuberanz ausstrahlt, gar nicht zerstreut, erscheint somit bei starker Zerstreuung des Tageslichts hell auf dunkelm Grunde. Lockier hatte die Methode schon vor 1868 vorgeschlagen, die Ausführung gelang zuerst, wie oben angeführt wurde, Janssen; und jetzt hat die Methode besonders durch Zöllner solche Fortschritte gemacht, daß

es jederzeit, wenn die Sonne scheint, möglich ist, Bilder der Protuberanzen aufzunehmen. Die Figuren 25 a und 25 b zeigen die Form und den raschen Wechsel einer Pro-

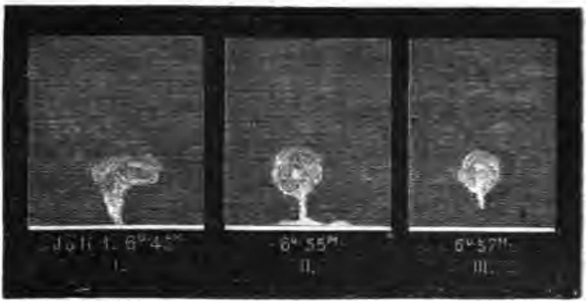


Fig. 25 a.

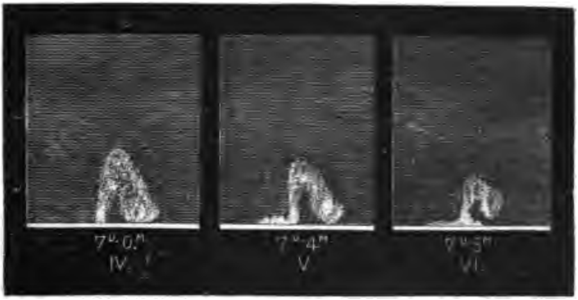


Fig. 25 b.

tuberanz, welche am 1. Juli 1869 von Zöllner zu verschiedenen den einzelnen Abbildungen beigeschriebenen Zeiten beobachtet wurde und deren Höhe bis zu 4000 Meilen betrug. Andere offenbar an vulkanische Ausbrüche erinnernde Formen geben die folgenden Abbildungen

25c und 25d vom 2. und 4. Juli. Es ist sonach kein Zweifel, daß die Protuberanzen nichts anders als Wasser-



Fig. 25 c.



Fig. 25 d.

stoffflammen sind und es ist zu erwarten, daß die Spectralanalyse noch Manches zur Erklärung dieser Erscheinungen bieten wird. Schon jetzt scheint es sicher, daß die Sonne eine Atmosphäre hat, wie sie bei Kirchhoff's Theorie für die Erklärung der Fraunhofer'schen Linien verlangt wird, und daß in den höchsten Theilen ihrer Atmosphäre als leichtester Stoff vorzugsweise der Wasserstoff sich befindet. Doch sind die Untersuchungen noch nicht so weit gediehen, um ein vollständiges Bild von der Beschaffenheit der Sonnenatmosphäre und von den Vorgängen in ihr, welche die Sonnenflecken, Sonnenfackeln und Protuberanzen hervorbringen, geben zu können.

5. Entfernung der Sonne von der Erde, Maße des Sonnensystems.

Jedes Maß, das wir anwenden, ist ein willkührliches, da es in der Natur nichts Unveränderliches gibt: das immer allgemeiner werdende Metermaß soll bekanntlich zur Länge eines Erdmeridians in einfacher Beziehung stehen, es soll der zehn-millionste Theil der Entfernung des Pols vom Aequator sein: wir werden später bei Betrachtung der Erddimensionen darauf zurückkommen. Wie man auf der Erde nicht alles mit einem Maß mißt, sondern bald Unterabtheilungen, bald Vielfache der Längeneinheit benützt, um keine zu großen oder zu kleinen Zahlen zu erhalten, so verfährt man auch und mit noch größerem Recht bei den Entfernungen der Himmelskörper. Wollte man z. B. die Durchmesser der Himmelskörper, so weit sie bekannt sind, in Metern angeben, so würde man schon sehr große Zahlen erhalten, man gibt sie deswegen meist in geographischen Meilen oder vergleicht ihre Größe mit der des Erddurchmessers. Wollte man die Entfernung der Planeten unter sich und von der Sonne in Metern geben, so würde es sich um Billionen handeln, man wählt also die „Sonnenweite“, d. h. die Entfernung der Sonne von der Erde, als Maß, und selbst dieses Maß würde zu große Zahlen geben, wenn es sich um die Entfernung der Fixsterne handelt, darum hat man zu diesem Zweck die „Lichtzeit“ als Maß eingeführt, die Zeit, die das Licht von ihnen zu uns braucht. Unsere Aufgabe ist, in diesem Abschnitt einen Begriff von dem Zusammenhang dieser verschiedenen Maße zu erhalten.

Das auf Erden gewöhnliche Messen durch Anlegen des Maßstabs ist unthunlich, sobald wir es mit Körpern zu thun haben, die uns nicht zugänglich sind, also unanwendbar für alle himmlischen Körper: wir brauchen zur Messung ihrer Größe und Entfernung durchaus künstliche Mittel. Ein solches haben wir schon oben (S. 36) bei Bestimmung der Parallaxe kennen gelernt; wenn man die Richtung nach einem Stern hin jetzt und nach einem halben Jahr bestimmt, so muß sie verschieden ausfallen für die zwei Zeiten, da die Erde an verschiedenen Orten sich befindet, während der Stern in einem halben Jahre kaum seine Lage ändert. Je größer die Verschiedenheit, desto näher ist der Stern und umgekehrt. Freilich haben wir auch gesehen, daß diese Methode zur Bestimmung der Entfernung der Sterne nicht ausreicht, weil die zwei Richtungen gar zu wenig verschieden sind. In andern Fällen dagegen kann man dieses Verfahren mit Vortheil anwenden, insbesondere bei dem uns nächsten Weltkörper, dem Mond. Man denke sich zwei Beobachter auf der Erde, möglichst weit aus einander, der eine etwa in Europa, der andere in Amerika: unter günstigen Umständen können beide zu gleicher Zeit, etwa im Moment des Anfangs oder des Endes einer Mondfinsterniß, so genau als möglich die Richtung zum Mondmittelpunkt mit ihren Fernröhren bestimmen. Da sie ihre Entfernung auf der Erdoberfläche aus der geographischen Lage bestimmen können und die Richtungen gegen den Mond von ihren Beobachtungspunkten aus bestimmt haben, so ist das Dreieck, dessen Spitze der Mond und dessen Grundlinie die Verbindungslinie der zwei Beobachtungspunkte ist, vollkommen bekannt,

also auch die Entfernung des Monds von jedem Beobachter oder nach einer kleinen weitern Rechnung seine Entfernung vom Erdmittelpunkt.

Auf diese Weise ist die Entfernung des Monds zu nahe 60 Erdhalbmessern bestimmt worden, und daran reiht sich sogleich folgender Schluß: da ein Fuß in der Entfernung von 60 Fuß etwa unter dem Winkel von einem Grad erscheint, so wird in der Entfernung von 60 Erdhalbmessern unter dem gleichen Winkel von einem Grad erscheinen, was die Dimension eines Erdhalbmessers hat; der Mond aber erscheint in jener Entfernung unter dem Winkel eines halben Grads, also ist sein Durchmesser die Hälfte des Erdhalbmessers (430 Meilen, genauer 470 Meilen). Ganz auf dieselbe Weise ließe sich auch Entfernung und Größe der Sonne bestimmen, aber wie die Erdbahn zu klein ist gegenüber der Entfernung der Sterne, um deren Parallaxe direct zu bestimmen, so ist es auch der Erddurchmesser gegenüber der Sonnenweite. Der größte Unterschied in der Richtung zur Sonne für zwei Beobachter auf der Erde, deren einem die Sonne aufgeht, während sie dem andern untergeht, ist nur 17 Secunden. Ein Fehler von einer Secunde nicht einmal gibt also in der Sonnenweite schon einen Fehler von einer Million Meilen. Daher war die Entfernung der Sonne von der Erde noch bis vor 100 Jahren nur sehr ungenau bekannt, man nahm sie damals viel zu klein an. Auch hier, wie so oft, mußten die Astronomen statt dieser einfachsten Methode einen andern Weg suchen, um ein besseres Resultat zu erhalten.

Zunächst kam das dritte Gesetz zu Hilfe, welches

Kepler aus der Vergleichung der Bahnen und Umlaufszeiten der Planeten nach langem Suchen und Probiren gefunden hat. Es lautet:

„Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich wie die Würfel der großen Axen."

Wer eine räumliche Anschauung dieses Gesetzes vorzieht, für den läßt es sich so ausdrücken: „wenn sich die Oberflächen zweier Kugeln wie die großen Axen zweier Planetenbahnen verhalten, so verhalten sich die Inhalte derselben Kugeln, wie die Umlaufszeiten." Zum Beispiel: die große Axe der Saturnsbahn ist beiläufig 9 mal so groß, als die der Erde. Stellen wir uns zwei Kugeln vor, die eine mit einer neunmal so großen Oberfläche als die andere, so ist der Halbmesser der einen dreimal, also ihr Inhalt 27 mal so groß als der der andern. Nach Kepler's drittem Gesetz ist also die Umlaufszeit des Saturn 27 mal so groß, als die der Erde, d. h. 27 Jahre.*) Da nun die Umlaufszeiten der Planeten bekannt sind, so braucht man nur die Entfernung eines Planeten von der Sonne zu kennen, oder auch die Entfernung irgend zweier Planeten von einander zu einer bestimmten Zeit, um alle anderen Entfernungen zu berechnen. Es ist wie bei zwei Zeichnungen desselben Gegenstands in verschiedenem Maßstabe: wenn bei der einen Zeichnung irgend eine Linie doppelt so groß ist, als die entsprechende der andern Zeich-

*) In Wirklichkeit beträgt die Umlaufszeit des Saturn über 29 Jahre, da seine große Axe 9½ mal so groß als die der Erde ist. Der Einfachheit wegen wurden oben runde Zahlen gewählt.

nung, so gilt dasselbe für je zwei entsprechende Linien, oder allgemein: wird irgend eine Zeichnung in anderem Maßstab ausgeführt, so muß jede Linie genau in derselben Weise größer oder kleiner genommen werden. Die Uebersichtstafel des Sonnensystems (Tafel III.) gibt ein Bild im Kleinen von den Planetenbahnen: auf diesem Bild ist die Entfernung der Sonne von der Erde beliebig angenommen, mit dieser Annahme sind aber alle andern Dimensionen des Sonnensystems bestimmt. Ist man nun im Stande, für den Zeitpunkt, für welchen das Bild gilt, irgend eine Entfernung zweier Planeten nach ihrer wahren Größe zu bestimmen, so weiß man, in welchem Maße alle Entfernungen der Zeichnung zu vergrößern sind, um die wahren Dimensionen des Sonnensystems, die wirkliche Entfernung irgend zweier dem Sonnensystem angehöriger Körper zu erhalten.

Die wahre Entfernung der Erde von einem Planeten läßt sich am besten und genauesten bestimmen, wenn der Planet der Erde möglichst nahe ist, da dann die Richtungen, nach welchen derselbe von verschiedenen Standpunkten der Erde erscheint, die größte, also am sichersten meßbare Verschiedenheit zeigen. Und da ferner von allen Planeten die Venus und der Mars unsere nächsten Nachbarn sind, welche unter Umständen auf 5, beziehungsweise 8 Millionen Meilen der Erde sich nähern, so wird die Bestimmung ihrer Entfernungen von der Erde uns am genauesten die Maße des Sonnensystems liefern. Doch — könnte man einwenden — warum soll man nicht die Entfernung des Monds von der Erde, die bei ihrer Kleinheit am leichtesten sich bestimmen läßt, als diejenige wählen, welche

alle andere Dimensionen bestimmt? Darauf ist die Antwort, daß das dritte Kepler'sche Gesetz nur für Körper gilt, die um denselben Centralkörper sich bewegen, wie die Planeten um die Sonne, die Trabanten Jupiters oder Saturns um diese u. s. w., daß dagegen aus der Umlaufszeit und Entfernung des Monds von der Erde kein Schluß gemacht werden darf auf Umlaufszeit und Entfernung eines Planeten von der Sonne, da die anziehende Masse eine in beiden Fällen verschiedene ist. Ein Körper, der von der Sonne beiläufig 4 Millionen Meilen entfernt ist, würde etwa in einem Monat um dieselbe sich bewegen, der Mond braucht eben so lang um die Erde, obgleich er nur 52,000 Meilen von der Erde entfernt ist. Wenn das den Dimensionen des Sonnensystems gewöhnlich zu Grund gelegte Maß der Sonnenweite mit der Zeit in Folge der genauern Bestimmungen eine Correction erleidet, so müssen alle Dimensionen des Sonnensystems in derselben Weise corrigirt werden. Nur die Entfernung des Monds von der Erde ist unabhängig von der Sonnenweite. Bei den andern Trabanten kann man die scheinbare größte Distanz von ihrem Planeten bestimmen und daraus die wahre Entfernung, wenn man die Entfernung des Planeten von der Erde als bekannt annimmt. Da aber in dieser Entfernung wieder die Sonnenferne steckt, so müssen auch die Dimensionen der Bahnen aller Trabanten corrigirt werden, wenn dies bei der Sonnenweite geschieht.

Halley war der erste, welcher vorschlug, die Sonnenweite aus Beobachtungen des Vorübergangs der Venus vor der Sonnenscheibe zu bestimmen: sie steht dann zwischen Sonne und Erde, ist also dieser am nächsten,

und kann, da sie als schwarzes scharf begrenztes Scheibchen auf der Sonnenscheibe erscheint, in Beziehung auf ihre Lage sehr sicher beobachtet werden. Ein großer Vortheil dieser Methode ist, daß man keine genauen Meßinstrumente nöthig hat, sondern nur eine gut gehende Uhr, um die Momente zu beobachten, wenn die Scheibe eintritt oder austritt. Aus der bekannten Lage der Sonne kann man dann die Richtung des Beobachters zur Venus finden. Unbequem aber ist, daß solche Venusvorübergänge zu den seltenen Ereignissen gehören, nur zweimal in etwa hundert Jahren sich zeigen. Halley selbst erlebte eine Frucht seines Vorschlags nicht mehr, er starb 1742, während die zu erwartenden nächsten Vorübergänge erst 1761 und 1769 erfolgten. Aber sein Vorschlag wurde von den Astronomen an den verschiedensten Orten der Erde ausgeführt. Encke stellte im Jahre 1825 alle ihm zugänglichen Beobachtungen zusammen und auf dieser Berechnung beruhen jetzt die Dimensionen des Sonnensystems, wie sie in den Lehrbüchern der Astronomie gegeben werden. Die nächsten Venusdurchgänge stehen nahe bevor, wieder zwei, welche acht Jahre nach einander erfolgen, in den Jahren 1874 und 1882. Schon jetzt rüsten sich die Astronomen, um mit den vervollkommneten jetzigen Mitteln eine Verbesserung der frühern Rechnungen zu erhalten.

Daß eine solche nöthig ist, scheint aus einer Reihe von Anhaltspunkten hervorzugehen. Encke hat die Zahl 20,680,000 Meilen für die Sonnenweite gefunden, es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Zahl zu groß ist und nahe auf 20,000,000 Meilen zu reduciren ist. So hat eine Erneuerung der Rechnung von Encke durch Powalky mit

Hinzuziehung noch weiterer seitdem bekannt gewordener Beobachtungen $1/_{31}$ weniger gegeben. Marsbeobachtungen vom Jahr 1862, die aus einer besonders günstigen Zeit stammen, weil damals die Erde in der Sonnenferne, Mars dagegen der Sonne am nächsten war, wurden von Winnecke zusammengestellt und gaben als Resultat, daß Encke's Zahl um $1/_{28}$ zu vermindern sei. Hansen fand bei der Berechnung neuer Mondtafeln, daß die Beobachtungen des Monds mit der Rechnung nur dann befriedigend stimmen, wenn man die Sonnenweite um $1/_{26}$ vermindert, und Airy bestätigte dieses Resultat. Leverrier zeigte noch auf anderm Wege aber auch aus der Bewegung des Monds, daß dem so sein müsse. Wäre nämlich die Erde für sich allein da, so würde ihr Mittelpunkt eine Ellipse um die Sonne als Brennpunkt beschreiben. Da sie aber einen Begleiter, den Mond, hat, so beschreibt nicht der Erdmittelpunkt, sondern der Schwerpunkt von Erde und Mond jene Ellipse, ein Punkt der etwa 642 Meilen vom Mittelpunkt der Erde absteht, also noch innerhalb der Erde fällt. Streng genommen müssen wir also sagen, die Ebene der Ekliptik ist nicht durch die Bahn des Erdmittelpunkts, sondern durch die des gemeinschaftlichen Schwerpunkts von Erde und Mond bestimmt. Da nun der Mond bald oberhalb, bald unterhalb der Ekliptik ist, so wird der Erdmittelpunkt bald unterhalb, bald oberhalb derselben sein, d. h. scheinbar die Sonne bald nördlich, bald südlich von der Ekliptik. Eine solche Abweichung zeigt sich in der That bei genauen Sonnenbeobachtungen, sie steigt bis auf $6^1/_2$ Secunden; d. h. von der Sonne aus gesehen erscheint die Länge von 642 Meilen unter einem Winkel

von $6\frac{1}{2}$ Secunden. Eine genauere Ausführung gibt nahe dasselbe Resultat, wie die Marsbeobachtungen, daß nämlich die Sonnenweite um $\frac{1}{24}$ zu verkleinern sei.

Endlich aber kam man noch auf einem ganz andern Wege zu gleichem Ziel. Wir haben früher gesehen (S. 45), daß Römer aus den Verfinsterungen der Jupitertrabanten schloß, das Licht brauche eine bestimmte Zeit, um einen gegebenen Weg zurückzulegen. Legt man Encke's Zahl für die Sonnenweite zu Grund und bestimmt darnach die Entfernung des Jupiter, so führen die Verzögerungen oder Beschleunigungen der Finsternisse auf eine Lichtgeschwindigkeit von 41,900 Meilen. Die Aberration der Fixsterne, deren Größe ja von der Geschwindigkeit des Lichts im Verhältniß zu der der Erde abhängt, also auch von den Dimensionen der Erdbahn oder von der Sonnenweite, gibt nach den sorgfältigsten Untersuchungen Struve's 41,500 Meilen, was mit der vorigen Zahl sehr nahe übereinstimmt. Diese zwei Bestimmungen der Lichtgeschwindigkeit auf astronomischem Wege hängen beide von der Sonnenweite ab, müßten also ebenfalls reducirt werden, wenn es sich fände, daß die Sonnenweite kleiner zu nehmen wäre. Nun ist es aber in der neuern Zeit gelungen*), die Geschwindigkeit des Lichts auf der Erde selbst zu bestimmen auf Strecken, deren Länge unmittelbar mit dem Maßstab gemessen werden kann. Die sorgfältigsten, neuesten Versuche von Foucault ergeben blos 40,100 Meilen, also merklich weniger. Es ist nicht möglich, daß die geringere Geschwindigkeit in der Nähe

*) Pisko, Licht und Farbe S. 436.

der Erdoberfläche daher rührt, daß das Licht durch die dichtere Luft geht, denn die Physik zeigt, daß dies nur etwa eine Aenderung von $1/_{3000}$ ausmachen würde. Vielmehr müssen wir sagen, die astronomisch bestimmte Lichtgeschwindigkeit ist zu groß, weil ihr eine zu große Sonnenweite zu Grund liegt, sie muß um $1/_{23}$ reducirt werden, um mit der von Foucault übereinzustimmen, oder mit andern Worten: die Sonnenweite ist in diesem Maß zu reduciren. Eine Reihe der verschiedensten Anzeichen von allen Seiten her deuten also darauf hin, daß die Sonnenweite nahe nur die runde Zahl 20 Millionen Meilen beträgt, der genaue Betrag der Correction läßt sich freilich durch keine jener indirecten Methoden feststellen, der sicherste Anhaltspunkt bleibt immer der Venusvorübergang und darin liegt die große Bedeutung der nächst bevorstehenden Durchgänge, wenn sie mit den weit vorgeschrittenen Hilfsmitteln der jetzigen Zeit beobachtet werden.

IV.

Die Planeten.

1. Newton's Gravitationsgesetz.

Die Kepler'schen Gesetze haben uns eine allgemeine Vorstellung von der Art der Bewegung der Planeten und von der gegenseitigen Abhängigkeit ihrer Umlaufszeiten und Entfernungen von der Sonne gegeben. Schon Kepler sprach von einer Kraft, welche zwischen Sonne und Erde thätig sei und bewirke, daß die Planeten bei ihrer Bewegung seinen drei Gesetzen folgen, aber bei den damaligen mangelhaften Kenntnissen in der Mechanik, der Lehre von der Bewegung überhaupt, war es ihm unmöglich einen Schritt weiter zu thun. Das wurde erst möglich, als Leibnitz und Newton vor zwei Jahrhunderten einen ganz neuen Zweig der Mathematik anbahnten, welcher für die vorliegenden technischen Probleme unentbehrlich war. Daß zwischen allen Körpern Anziehung stattfinde, war schon vor Newton ausgesprochen worden, ebenso daß diese Anziehung umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung sei: man nahm dies an, da beim Licht, beim Schall und bei der strahlenden Wärme dieselbe Abnahme

mit der Entfernung stattfindet.*) Das, was Newton die Unsterblichkeit sichert, ist, daß er das schon ausgesprochene Gesetz, daß alle Körper sich proportional ihren Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernung anziehen, als das im Sonnensystem durchaus geltende nachwies, daß er zeigte, daß und wie aus ihm die Kepler'schen Gesetze sich ergeben und welche Modificationen noch anzubringen sind.

Jede Bewegung, die uns unmittelbar vor Augen tritt, ist nicht die Aenderung der Lage des bewegten Körpers im Raum, sondern die Aenderung in Beziehung auf eine Umgebung, die wir uns im Augenblick ruhend vorstellen. Wenn wir von einem Spaziergang nach Hause zurückkehren, so sind wir in Beziehung auf die Stadt, in der wir wohnen, oder auch in Beziehung auf die Erde wieder an demselben Ort angelangt, in Wirklichkeit aber nicht zum gleichen Punkt des Raums zurückgekehrt, denn es hat sich indessen die Erde um ihre Axe gedreht, sie hat sich auf ihrer Bahn um die Sonne bewegt und hat unser Haus mitgeführt. Ja wir können hinzufügen: die Sonne und mit ihr das ganze Sonnensystem, vielleicht noch unser Milchstraßensystem nebst der Sonne hat sich fortbewegt, so daß wir voraussichtlich beständig unsere Lage im Raum ändern und nie mehr zu einem Punkt zurückkehren, von dem wir ausgehen. Würde jede dieser Einzelbewegungen von Einfluß sein auf die andern, würde z. B. die Aenderung der Bewegung der Sonne in Größe und Richtung auch eine Aenderung in der Erdbewegung mit sich führen,

*) s. Radau, der Schall. S. 79. Pisko, das Licht. S. 421.

so wäre unsere Wissenschaft am Ende. Das ist nun glücklicherweise nicht der Fall, denn es gilt in der Mechanik ein Grundsatz, der sich so aussprechen läßt: die Bewegungen innerhalb eines Systems sind unabhängig von der Bewegung des Schwerpunkts des Systems. Die Bewegungen der Planeten nach Kepler's Gesetzen sind Bewegungen innerhalb des Sonnensystems, wobei man sich den Schwerpunkt des Systems ruhend denken kann. Will man die wirkliche Verschiebung der Planeten im Raum, so muß man noch die Bewegung des Systems im Raum kennen; denkt man sich dann den Planeten auf seiner Bahn und diese Bahn entsprechend der letzten Bewegung verschoben, so hat man die wahre Bewegung des Planeten. Wenn eine Kugel auf dem Verdeck eines Schiffes rollt, so sehe ich unmittelbar die Bewegung in Beziehung auf den Boden des Verdecks, da aber das ganze Schiff sich fortbewegt, so erhalte ich die Bewegung in Beziehung auf den fest gedachten Erdboden, wenn ich beide Bewegungen combinire. Ich kann somit die Bewegung im Schiff in Betracht ziehen, aber auch die Bewegung in Bezug auf den Erdboden, wenn ich noch die Bewegung des Schiffs hinzuziehe. Das Einfachste ist nun offenbar, jede Bewegung für sich zu betrachten, wie sie sich in Beziehung auf die nächste Umgebung gestaltet, dann die Bewegung der ganzen Umgebung zu studiren u. s. w. Es wird dadurch die ganze Anschauung erleichtert. So denken wir uns z. B. zuerst die Drehung der Erde um ihre Axe, indem wir uns diese fest denken; dann führen wir die Axe in stets gleicher Lage längs der Erdbahn um die Sonne und schließlich lassen wir die Erdbahn von der Sonne fortführen. Betrachten

wir die Bewegung des Mondes um die Erde, diese als fest gedacht, so haben wir eine elliptische Bahn, dagegen ist die Bewegung des Monds in Beziehung auf die Sonne eine viel complicirtere, unserer Anschauung weniger zugängliche. Betrachten wir die Bewegungen der Planeten in Beziehung auf die Fixsterne, so ist ihr Lauf ein ganz sonderbarer, sie gehen vorwärts, bleiben still stehen, kehren zurück und gehen abermals vorwärts. Ihre Bewegung ist eben eine Combination der eigenen Bewegung und der Bewegung der Erde um die Sonne, die einzelnen Bewegungen fassen wir leicht, die combinirten sehr schwierig. Von ruhigem Standpunkt aus mit einer Schußwaffe einen bewegten zu treffen ist schwierig, weil das Treffen von dem Verhältniß der Geschwindigkeit der Kugel und des zu treffenden abhängt: ist aber der Standpunkt selbst in Bewegung, so wird das Treffen nahezu unmöglich, wenn z. B. verlangt würde, von einem rasch bewegten Bahnzug aus einen vorbeieilenden Hasen zu schießen.

Darum halten es die Astronomen für passend, der Anschauung dadurch nachzuhelfen, daß sie die Bewegungen möglichst trennen in einer Art, daß jeden Augenblick eben nur eine Bewegung betrachtet wird. Denkt man sich beispielsweise zwei Körper, die sich nach dem Gesetz der allgemeinen Anziehung bewegen, und sonst keinen andern, so beschreibt, wenn man sich den Schwerpunkt fest denkt, jeder der Körper um den Schwerpunkt als Brennpunkt eine Ellipse. Die zwei Ellipsen haben gleiche Form, nur ist die eine im Allgemeinen kleiner als die andere: da der feste Schwerpunkt immer auf der Verbindungslinie beider Punkte liegen und sie immer in gleicher Weise theilen muß.

im Verhältniß der Massen der zwei Punkte, so erhält man eine Bewegung, wie sie im obern Bild die Fig. 26 darstellt. Die kleinere Masse beschreibt die größere Ellipse,

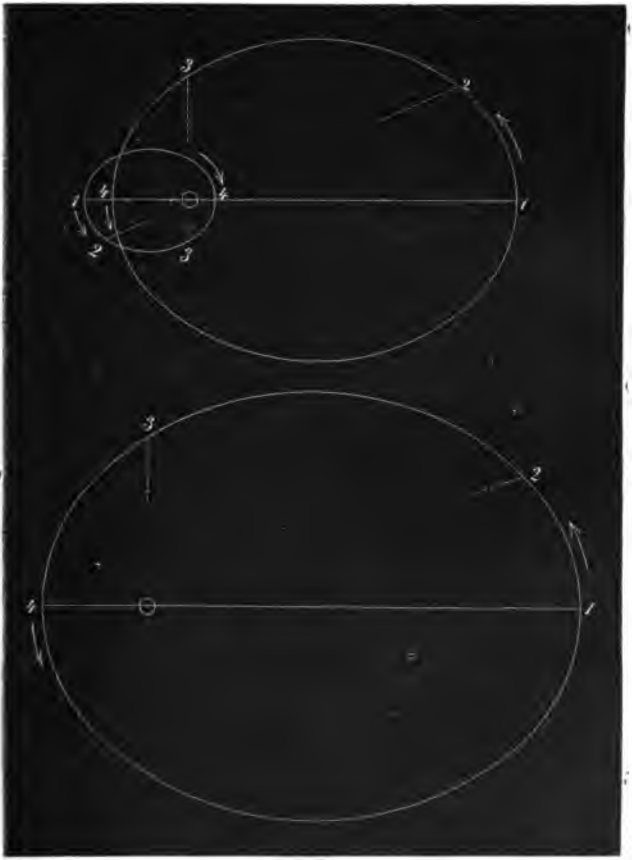


Fig. 26.

weil der gemeinschaftliche Schwerpunkt weiter von ihr entfernt ist: befindet sie sich in den Punkten 1, 2, 3, 4 der größern Ellipse, so ist die größere Masse in den entsprechenden Punkten der kleinen Ellipse. Denkt man sich nun aber als Beobachter auf der größern Masse, in Ruhe, während die kleinere Masse sich bewegt, so befindet sich diese scheinbar in der Entfernung des ganzen Abstands je zweier entsprechender Punkte 1, 2 u. s. w. von dem Standpunkt, wo man sich befindet. Legt man also alle diese Abstände mit gleicher Richtung so, daß ihre einen Enden mit dem festen Standpunkt zusammenfallen, so bilden die andern Endpunkte die scheinbare Bahn der kleinern Masse, und es ist diese Bahn, wie die untere Figur zeigt, offenbar eine Ellipse gleicher Form, nur wieder größer als die andern. Denkt man sich somit den Punkt mit größerer Masse fest, so gilt für den andern das erste Kepler'sche Gesetz.

Diese Anschauung ist deswegen besonders einfach, weil mit Rücksicht auf die verschiedenen Planeten die Sonne eine ganze Reihe verschiedener Ellipsen zu gleicher Zeit beschreiben, d. h. eine sehr complicirte Bewegung, zusammengesetzt aus einer großen Zahl Einzelbewegungen, haben müßte. Sowie man dagegen die Sonne als fest nimmt, hat man augenblicklich eine klare Uebersicht und darum wird von den Astronomen immer von dieser Annahme ausgegangen. Man sieht, daß das Kepler'sche Gesetz, jeder Planet beschreibe um die Sonne, genauer gesagt, den Sonnenmittelpunkt einer Ellipse, deren einer Brennpunkt in jenen Mittelpunkt fällt, streng genommen nach dem Gesetz der allgemeinen Anziehung Newton's eine kleine

Aenderung erleidet, da die Bewegung um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt als Brennpunkt stattfindet; aber unmittelbar ergibt sich, daß jeder Unterschied wegfällt, sobald man, was jederzeit zulässig ist, von dem Sonnenmittelpunkt als festem Standpunkt aus die Bewegung betrachtet.

Von größerer Tragweite ist dagegen eine kleine Aenderung des dritten Kepler'schen Gesetzes über den Zusammenhang zwischen Umlaufszeiten und großen Axen der Planetenbahnen: nach dem Gesetz der allgemeinen Anziehung hängen die Umlaufszeiten auch noch von den Massen der Planeten ab. Wären alle Planeten gleich groß, so wäre Kepler's Gesetz genau richtig: in Wirklichkeit findet man bei bekannter Umlaufszeit für die größere Masse eine größere Bahn, als dies ohne Berücksichtigung der Masse der Fall wäre: berechnet man beispielsweise die große Axe der Jupitersbahn aus dem dritten Kepler'schen Gesetze, so findet man, daß sie 5,201mal so groß ist als die der Erdbahn, nimmt man aber auf die verschiedenen Massen Rücksicht, so ergibt sich 5,202, ein im gewöhnlichen Sinn des Worts unbedeutender Unterschied, aber für die Astronomen unter Umständen bedeutend genug, um einen Schluß auf die Masse selbst zu machen. Die Marsbeobachtungen Tycho's gaben Kepler die Mittel an die Hand, seine Gesetze aufzufinden, aber so genau waren die damaligen Beobachtungen nicht, um auch noch einen Schluß auf verschiedene Massen machen zu können und das Gesetz finden zu lassen, nach welchem die Massen auf einander einwirken. Selbst unsere heutigen Beobachtungen würden das kaum gestatten: es mußte zuerst Newton's Theorie kommen, die sich durch ihre Uebereinstimmung

mit Kepler's Gesetzen rechtfertigte, aber noch darüber hinausging und Dinge anzeigte, welche erst am Himmel aufgesucht werden mußten.

Die Kepler'schen Gesetze gelten strenge, so lange wir blos zwei Weltkörper im Raum betrachten, nur genähert für eine Reihe von Körpern, die sich um einen Centralkörper von verhältnißmäßig sehr bedeutender Masse bewegen: sie dienen deswegen als Grundlage der ersten Berechnung der Planeten- und Kometenbahnen und der Lage dieser Himmelskörper in ihrer Bahn. Dann aber tritt das Gesetz der allgemeinen Anziehung und sein Recht ein, nach welchem jeder Planet auf jeden andern einwirkt, so daß die einfachen Verhältnisse, die sich aus Kepler's Gesetzen ergeben, etwas geändert werden müssen, jedoch nicht viel, da die Anziehung jedes Planeten klein ist im Verhältniß zu der der Sonne. Die durch die neue Rechnung gefundenen Abweichungen oder „Störungen" sind natürlich keine Ausnahmen vom Gesetz der allgemeinen Anziehung, wie der Name Störung vermuthen lassen könnte, vielmehr eben durch dieses Gesetz bedingte Abweichungen von den Kepler'schen Bahnen. Laplace war der erste, welcher in seiner „exposition du système de monde" eine ganze Reihe beobachteter Störungen durch die allgemeine Anziehung erklärte und heutzutage ist die Störungsrechnung der wichtigste, aber auch schwierigste und zeitraubendste Theil der rechnenden Astronomie. Es ist charakteristisch für die Arbeit des Astronomen, daß er immer vorerst nur ein genähertes Resultat aufsucht, wenn es sich um Lösung einer gegebenen Aufgabe handelt, und nachher durch eine Reihe von Correctionen der Wahrheit

immer näher zu kommen strebt. Es gibt keinen getheilten Kreis, der ohne entdeckbare Fehler wäre — der Astronom wirft ihn deswegen nicht weg, er untersucht ihn, bestimmt seine Fehler, beobachtet mit ihm und corrigirt die Resultate, indem er die Fehler in Rechnung bringt: er erreicht so dasselbe, wie wenn er einen vollkommenen Kreis hätte. Es gibt kein Fernrohr, das sich nicht biegt oder unter dem Einfluß der Temperatur sich ändert — der Astronom untersucht die Größe der dadurch bedingten Abweichungen und arbeitet dann mit dem Instrument, wie mit einem unbiegsamen, von der Temperatur nicht beeinflußten. Unser wissenschaftliches und technisches Können ist ein unvollkommenes, also bleibt Nichts übrig, als zunächst unter angenommenen möglichst einfachen Verhältnissen zu rechnen und zu beobachten, und dann durch Aufsuchen kleiner Abweichungen und durch solche Einrichtung der Beobachtungen, daß Fehler sich aufheben oder einfach bestimmbar sind, allmählich der Wahrheit näher rücken.

Newton's erster Schritt war die Aufstellung des Satzes, daß der Mond durch dieselbe Kraft in seiner Bahn erhalten werde, welche die Körper auf der Erde zum Fallen bringt, durch die Anziehung der Erde. Betrachten wir den Mond an irgend einer Stelle der Bahn, die er um die Erde beschreibt, so ist die Richtung der Bewegung nahezu senkrecht zu der Richtung gegen die Erde. Würde einen Augenblick keine Kraft auf den Mond einwirken, so wäre keine Ursache vorhanden, welche die Größe oder Richtung seiner Geschwindigkeit ändern könnte, er würde also mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf einer Geraden sich fortbewegen und immer mehr von der Erde sich entfernen. Nun

wirkt aber die Anziehung der Erde auf ihn: betrachten wir die Erde als fest, so wird in Folge derselben der Mond sich der Erde nähern, er muß von der geradlinigen Bahn abweichen und beschreibt eine krummlinige, nach Kepler's Gesetz eine elliptische Bahn. Diese ist uns durch Beobachtung bekannt, die Richtung der Bewegung ist ebenfalls für jeden Moment bekannt: es ist die Gerade, welche die Ellipse in dem Punkt, wo der Mond sich befindet, berührt; und die Geschwindigkeit ist nach dem zweiten Gesetz Kepler's gegeben. Wir können somit erstens die Gerade, auf der sich der Mond bewegen würde, wenn die Sonne ihn nicht anziehen würde, und den Punkt bis zu dem er auf dieser Geraden in der nächsten Secunde gelangen würde, da die Geschwindigkeit bekannt ist: wir kennen aber auch den Punkt, zu dem er innerhalb derselben Secunde wirklich gelangt. Der letzte ist der Erde näher als der erste und der Abstand beider Punkte gibt ein Maß für die Anziehung der Erde auf den Mond, oder auf irgend einen Körper in der Entfernung des Monds. Derselbe Raum würde von dem Monde in der ersten Secunde zurückgelegt, wenn er plötzlich seine Geschwindigkeit in der Bahn verlieren, also von da an gegen die Erde fallen würde, wie ein sich selbst überlassener Körper über der Erdoberfläche: der Kürze wegen bezeichnen wir ihn mit „Fall des Monds gegen die Erde", er beträgt 0,0014 Meter. Der Fall an der Erdoberfläche beträgt 4,9 Meter, ist also 3600 mal so groß und das entspricht der Thatsache, daß der Mond vom Erdmittelpunkt 60 Erdhalbmesser entfernt ist, d. h. 60 mal so weit, als ein Punkt der Erdoberfläche: da die Anziehung mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt,

so muß der Fall des Monds 3600 mal kleiner sein. Das war Newton's Schlußfolgerung. Dabei kommt die Masse des Monds nicht in Betracht, sondern nur die der Erde; wie auf der Erdoberfläche jeder Körper gleichen Fall hat, so hätte der Mond auch bei anderer Masse doch denselben Fall. Die Anziehung der Erde auf die größere Masse ist freilich größer, aber in gleichem Maß ist auch die zu bewegende Masse größer, so daß schließlich der zurückgelegte Weg derselbe ist: eben deswegen weil die Masse des sich bewegenden Körpers nicht ins Spiel kommt, gibt jener „Fall" ein Maß für die Masse des anziehenden Körpers.

Will man beispielsweise die Masse des Jupiter mit der der Erde vergleichen, so braucht man nur den Fall eines Jupitermonds gegen den Jupiter zu berechnen, er beträgt z. B. für den zweiten Mond 158 Millimeter in der Entfernung 89,700 Meilen vom Jupitermittelpunkt. Die Entfernung des Monds der Erde von deren Mittelpunkt ist 52,000 Meilen: in dieser Entfernung wäre die Anziehung des Jupiter auf seinen Trabanten größer im Verhältniß der Quadrate beider Entfernungen, also 471 Millimeter. Während also der Fall gegen die Erde in der Entfernung des Monds 1,4 Millimeter beträgt, ist er in gleicher Entfernung für den Jupiter 471 Millimeter, in gleichem Maß wird also die Jupitersmasse größer sein, d. h. sie ist 336 mal so groß als die der Erde. Man kann daher auf diese Art die Masse jedes Planeten bestimmen, welcher einen oder mehrere Begleiter hat, man kann ebenso natürlich die Masse der Sonne bestimmen; unmöglich dagegen ist dies Verfahren bei Merkur und Venus und bei den Begleitern der Planeten, weil sie nicht Mittelpunkte

für die Bewegung weiterer Himmelskörper sind. In diesem Falle bleibt Nichts übrig, als die Masse auf einem Umwege aus den Störungen abzuleiten. Je größer die Masse eines Planeten, desto mehr wird er auf die Bewegung eines andern einwirken: kennt man also die Bewegung eines Planeten sehr genau, so ist es möglich, auf die Masse der andern, welche seine Bewegung in der Ellipse stören, einen Schluß zu machen. Findet man, daß die berechneten Störungen mit den beobachteten nicht übereinstimmen, so liegt der Fehler in der Regel an der nicht richtig angenommenen Masse des störenden Körpers. Sehr weitläufige Rechnungen und eine Reihe von Versuchen werden auf diese Weise allmählich sichere Werthe für die Massen der trabantenlosen Planeten finden lassen, bis jetzt ist dieses Ziel noch nicht vollständig erreicht. Was den Mond betrifft, so gibt außer den Störungen in seiner Bahn auch seine Einwirkung auf die beweglichen Theile der Erdoberfläche und die daraus entstehende Ebbe und Fluth einen Anhaltspunkt.

Ist die Masse eines Körpers und seine Größe bestimmt, wie sie sich aus der scheinbaren Größe und aus der Entfernung ergibt, so ist auch die Dichtigkeit damit bestimmt. Eine Zusammenstellung der hauptsächlichsten Zahlen folgt hier:

	Sonne,	Merkur,	Venus,	Erde,	Mars,	Jupiter,	Saturn,	Uranus,	Neptun,
Masse:	324,000	0,08	0,82	1,00	0,12	338	101	17	18
Dichte*):	1,44	7,97	5,43	5,68	4,19	1,32	0,64	0,98	1,15

*) in Beziehung auf Wasser.

2. Die einzelnen Planeten.

Wie die eben gegebene Uebersicht zeigt, haben die der Sonne nächsten Planeten, Merkur, Venus, Erde und Mars, große Dichte und kleine Massen, während die vier entferntesten, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, durch kleine Dichte, aber große Massen sich auszeichnen. Es ist möglich, daß diese Verhältnisse in gesetzlichem Zusammenhang mit der oben (III, 1.) aufgestellten Theorie der Bildung des Planetensystems stehen, worauf schon dort hingewiesen wurde. Daß in Plateau's Apparat bei rascher Drehung zuerst größere und dann kleinere Kugeln sich ablösen, stimmt mit der Thatsache, daß die größern Planeten die von der Sonne entferntesten sind; und daß die Dichte von außen nach innen zunimmt, erklärt sich aus der fortgehenden Verdichtung des Gasballs. Allerdings ist eine regelmäßige Zunahme nicht vorhanden und ganz gegen diese Erklärung scheint zu sprechen, daß der Rest des Gasballs, die Sonne, wieder eine beträchtlich kleinere Dichte hat, als die zuletzt abgelösten Planeten. Doch ist nicht außer Augen zu lassen, daß außer der Zeit der Ablösung auch die größere oder kleinere Ausstrahlungsfähigkeit eine Rolle spielt: bei gleicher Beschaffenheit und gleicher Temperatur kühlt sich die größere Kugel langsamer ab, weil im Verhältniß zu ihrem Inhalt die Oberfläche, durch die die Wärme ausstrahlt, kleiner ist. Ist z. B. eine Kugel achtmal so groß, als eine andere, so enthält sie bei gleicher Temperatur und gleichem Stoff die 8fache Wärmemenge, ihre Oberfläche ist aber nur 4mal so groß, sie wird sich also viel langsamer abkühlen, als die kleinere

Kugel. Es ist sonach die Dichte auch wieder von der Größe abhängig, die kleinsten Planeten sind die dichtesten, die größten haben vielleicht noch nicht einmal eine erstarrte Rinde. Zöllner hat die lichtreflectirende Kraft der einzelnen Planeten bestimmt: da bei bekannter Größe und Entfernung der Sonne und eines Planeten die Menge Licht bekannt ist, welche der Planet erhält, und da die Lichtmenge, die er uns zusendet, gemessen werden kann, so ergibt sich auch die Lichtmenge, welche gleich große Flächen verschiedener Planeten zurückwerfen, wenn sie gleich stark beleuchtet werden, d. h. die lichtreflectirende Kraft. Denken wir uns die Planeten Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun gleich weit von der Sonne entfernt und gleich groß, so würden ihre Helligkeiten im Verhältniß der Zahlen 2, 5, 4, 5, 4 stehen, eine Kugel von Quecksilber unter ganz denselben Umständen hätte die Helligkeit 5; eine von weißem Sandstein die Helligkeit 2, eine von Thonmergel nicht 1½. Es ist nun offenbar nicht anzunehmen, daß Jupiter und Uranus so viel Licht zurückwerfen, als eine Quecksilberfläche, also wird wohl nichts übrig bleiben, als anzunehmen, daß eben nicht alles von ihnen kommende Licht zurückgeworfen ist, sondern daß sie auch eigenes Licht haben, d. h. daß ihre Oberfläche noch nicht erstarrt ist, sondern noch glüht. Das Aussehen der Mondoberfläche zeigt unmittelbar, daß sie nicht flüssig ist, die lichtreflectirende Kraft hat Zöllner zu 1½ etwa bestimmt, d. h. der des Thonmergels entsprechend.

Auch die weitere Eigenthümlichkeit, daß mit Ausnahme der Erde die der Sonne nächsten Planeten keine Monde haben, während die entferntesten alle Trabanten besitzen,

läßt sich mit der Ablösungstheorie gut vereinigen, da eine weitere Ablösung von einem Planeten, der sich vom Ganzen getrennt hat, viel wahrscheinlicher ist, wenn dessen Masse eine sehr beträchtliche ist. Es soll damit keineswegs eine Erklärung gegeben, sondern nur gesagt sein, daß diese Eigenthümlichkeit, so wenig als die Vertheilung der Dichte im Sonnensystem der Ablösungstheorie widerspreche.

Könnten wir die Planeten von der Sonne aus beobachten, so wäre ihre Bewegung unter den Fixsternen eine sehr einfache, sie würden mit immer gleicher Richtung im Thierkreis von West nach Ost sich bewegen, wie für uns die Sonne sich zu bewegen scheint, mit nahezu gleichbleibender Geschwindigkeit. Da aber unser Standpunkt die Erde ist, welche selbst um die Sonne sich bewegt, unser Beobachtungsort also beständig wechselt, so kann jene Gleichförmigkeit bei der scheinbaren von der Erde aus gesehenen Bewegung nicht stattfinden. Die zwei Planeten, welche zwischen Sonne und Erdbahn sich bewegen, würden bei ruhender Erde von West nach Ost sich zu bewegen scheinen, wenn der Planet auf dem von der Erde abgewendeten Theil seiner Bahn sich befindet, umgekehrt von Ost nach West, wenn auf dem der Erde zugekehrten Theil. Stände aber der Planet still, so würde er unter allen Umständen in Folge der Erdbewegung von West nach Ost zu gehen scheinen. Trifft beides zusammen, so ist klar, daß in den der Erde entfernteren Punkten seiner Bahn der Planet mit beschleunigter Bewegung von West nach Ost geht: was aber in den näher gelegenen Theilen erfolgt, läßt sich zum Voraus nicht bestimmen: es wird darauf ankommen, mit welcher Geschwindigkeit jeder der Körper sich

bewegt. In der Figur 27 beispielsweise bedeute der innere Kreis die Bahn eines Planeten, der zweite die Bahn der Erde, die gleichen Zahlen geben die gleichzeitigen Orte des



Fig. 27.

Planeten und der Erde. Der äußerste Kreis stelle die Ekliptik an der Himmelskugel vor: verbindet man zwei gleiche Zahlen bis die Linie von der Erde zum Planeten

den äußern Kreis trifft und schreibt man dort dieselbe Zahl an, so hat man den Punkt, nach welchem hin der Planet von der Erde aus gesehen am Himmel erscheint. So lange die Erde von 1 bis 8 geht, befindet sich der Planet auf dem ihr benachbarten Theil seiner Bahn, die Pfeile bezeichnen die Richtung West nach Ost: man sieht, daß zuerst (1 bis 3) der Planet rechtläufig ist, daß er dann (3 bis 7) rückläufig wird und nachher wieder in ursprünglicher Richtung weiter geht. Diese Richtung wird nun längere Zeit beibehalten (von 7 bis 26) und die rechtläufige Bewegung ist Anfangs eine beschleunigte, dann eine verzögerte, bis bei 26 (bei dem innern Kreis 10 entsprechend, weil mit 16 der Umfang erschöpft ist) wieder eine Umkehr stattfindet, die von 26 bis 30 fortdauert (beziehungsweise 10 bis 14), weil hier die zwei Himmelskörper wieder am nächsten sind. Auf diese Weise kann man sich durch eine einfache Zeichnung jederzeit davon Rechenschaft geben, warum ein zeitweiliges Stillestehen und Rückwärtsgehen der sogenannten innern Planeten stattfindet. Weniger auffallend, aber ebenso leicht erklärlich ist dieselbe Erscheinung bei den äußern Planeten: sie scheinen zwar von ruhender Erde aus beständig rechtläufig unter den Fixsternen sich zu bewegen, da aber ihre Bewegung sehr langsam vor sich geht, so kann ebenso wieder, wenn der Planet der Erde am nächsten ist, in Folge der raschern Bewegung der Erde eine scheinbare rückläufige Bewegung entstehen. Nimmt man noch hinzu, daß alle Planetenbahnen mehr oder weniger geneigt gegen die Erdbahn sind, so sieht man leicht, daß die Rückkehr nicht auf derselben Linie, sondern bald nördlicher, bald südlicher erfolgt, so daß schleifen-

artige Bewegungen entstehen. Die Figur 28 gibt beispielsweise die Bahn des Merkur von August bis October 1871 nebst der scheinbaren Sonnenbahn. Anfangs

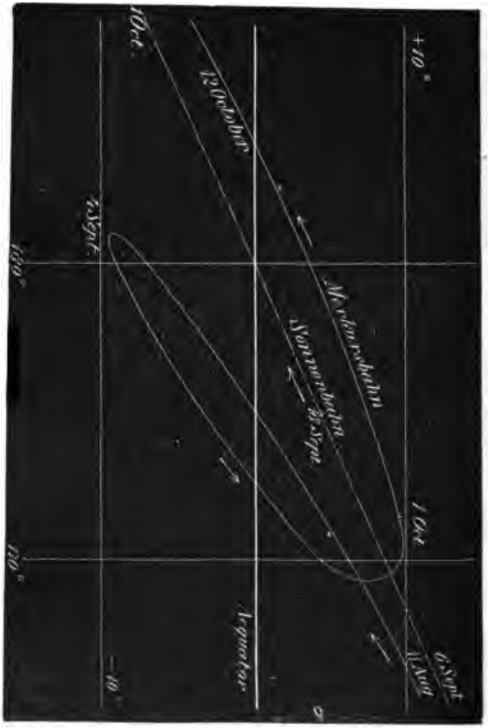


Fig. 28.

August ist Merkur der Sonne voraus, südlich von der Ekliptik oder Sonnenbahn; Anfangs September kehrt er um und nähert sich allmählich der Sonne und der Ekliptik, welche er am 18. September passirt, während die

Sonne ihm schon vorangeeilt ist. Er kehrt jetzt wieder um und bewegt sich nördlich von der Ekliptik gegen die Sonne hin. Je nach Bahn und Geschwindigkeit des Planeten können diese Schleifen sehr verschiedenartig ausfallen; um ihre Form zu erhalten, braucht man nur die Stände des Planeten und der Sonne aus irgend einem astronomischen Kalender in eine Sternkarte oder das Netz einer solchen einzuzeichnen. Diese schleifenartigen Bewegungen erfolgen in bestimmten Perioden, welche den Namen synodische Umlaufszeiten erhalten haben und nach deren Ablauf der Stand eines Planeten zur Sonne von der Erde aus gesehen wieder derselbe ist. Würde ein Planet stille stehen, so wäre die Periode gleich der siderischen Umlaufszeit der Erde, da nach deren Ablauf die Sonne wieder denselben Stand in Beziehung auf die Fixsterne, also auch in Beziehung auf den festgedachten Planeten hat. Bewegt sich der Planet sehr langsam, so wird sich seine synodische Umlaufszeit wenig vom Erdenjahr unterscheiden, bei Neptun z. B. beträgt sie 368, bei Jupiter 399 Tage. Je näher der Planet der Erde ist, desto länger dauert sie, bei Mars 780 Tage, nimmt aber dann bei den innern Planeten mit kurzer Umlaufszeit wieder ab, beträgt z. B. bei Merkur 116 Tage. Um eine deutliche Vorstellung von dieser Verschiedenheit zu erhalten, darf man sich nur denken, alle Planeten bewegen sich auf derselben Bahn, aber mit verschiedener Geschwindigkeit (wie sie von der Sonne aus gesehen erscheint) alle in gleicher Richtung, alle von demselben Punkt ausgehend. Die äußern Planeten läßt die Erde sogleich hinter sich zurück, weil sie rascher sich bewegt, holt sie aber nach

zurückgelegtem Umlauf ein, am frühesten den langsamen Neptun, am spätesten den raschen Mars; gegen die innern Planeten, Venus und Merkur, bleibt dagegen die Erde zurück, und wird von ihnen nach einem Umlauf eingeholt, früher von dem, der sich schneller bewegt. Als Geschwindigkeit ist hiebei die scheinbare von der Sonne aus gesehene zu nehmen, da der synodische Umlauf vollendet ist, wenn von der Sonne aus gesehen Planet und Erde wieder beieinander sind, weil dann die gegenseitige Stellung aller drei wieder dieselbe ist. Für den Mond ist die synodische Umlaufszeit die Zeit von einem Neumond zum andern, oder von einem Vollmond zum andern u. s. w.

Merkur und Venus, welche der Sonne näher sind als die Erde und daher unter Umständen zwischen beide treten, zeichnen sich vor allen andern Planeten dadurch aus, daß sie Phasen oder Lichtgestalten, ähnlich wie der Mond, zeigen: sind sie zwischen Sonne und Erde, so erscheinen sie vollkommen dunkel und werden nur gesehen, wenn sie als kleine dunkle Scheiben vor der Sonne vorübergehen (siehe S. 129); steht dagegen die Sonne zwischen der Erde und den Planeten, so erscheint die Scheibe ganz beleuchtet, wie der Vollmond, sie würden jetzt am hellsten sein, wenn sie nicht zugleich am entferntesten wären und wenn sie nicht durch die Strahlen der nahen Sonne verdunkelt würden. Die größte Helligkeit fällt aus dem letzten Grunde näher an die größte scheinbare Entfernung von der Sonne: es ist jetzt allerdings nur etwa die Hälfte beleuchtet, aber die Scheibe hat eine ziemliche Größe, weil der Planet ungefähr in seiner mittlern Entfernung ist. Daß die Größe der Scheibe von

wesentlichem Einfluß ist, zeigt die Figur 29, welche die Aenderung der scheinbaren Größe der Venus von der kleinsten zur größten Entfernung zeigt: die mittlere Figur entspricht der größten Helligkeit, ihr Durchmesser ist nur etwa der 80ste Theil des Sonnendurchmessers.

Merkur entfernt sich nie sehr weit von der Sonne (28 Grade) und ist daher bei seiner Kleinheit selten und nur guten Augen sichtbar, besonders zur Zeit der kurzen

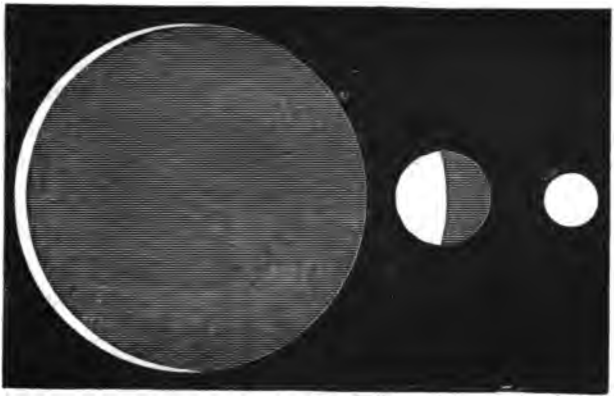


Fig. 29.

Dämmerungen im Frühjahr und Herbst, da dann die Sonne schon tief unter dem Horizont stehen kann, wenn Merkur noch nicht untergegangen ist. Wegen seiner im Verhältniß zu seiner Größe bedeutenden Entfernung läßt sich von seiner Oberflächengestalt wenig sagen, am sichersten scheint zu sein, daß er eine ziemlich dichte Atmosphäre besitzt, da die Lichtgrenze auf seiner Oberfläche sehr verwaschen erscheint.

Venus entfernt sich von der Sonne schon bis 48° und übertrifft dann außer Sonne und Mond alle Himmelskörper an Glanz; sie kann, wenn man ihre Lage am Himmel genau kennt, bei Tage gesehen werden, und wirft bei Nacht, wenn der Mond nicht stört, bemerkbare Schatten, was selbst bei Jupiter nicht der Fall ist. Sie trug schon in den ältesten Zeiten den Namen Morgen- und Abendstern, doch wird wohl lange Beobachtung nöthig gewesen sein, bis man beide Sterne als einen und denselben erkannte. Steht sie rechts von der Sonne, so geht sie vor dieser unter und auf, kann also nur Morgens gesehen werden; links von der Sonne geht sie nach ihr auf und unter, wird also nur Abends gesehen, wie wir den Mond im ersten Viertel nur Abends, im letzten Viertel nur Morgens sehen. Die Venus ist der unserer Erde ähnlichste Planet, in Größe, Masse, Dichte und vielleicht auch Umdrehungszeit. Dagegen hat sie eine beträchtlich kleinere Excentricität, d. h. ihre Bahn ist sehr nahezu ein Kreis und es fehlt ihr ein Mond. Allerdings existiren Beobachtungen eines solchen und ein eigenthümlicher Schein des dunkeln Theils der Scheibe ließe sich am besten aus dem Reflex des Mondlichts erklären, aber die neuere Zeit mit ihren verbesserten Hilfsmitteln hat keine Spur mehr von einem Begleiter aufgewiesen.

Mars zeichnet sich durch seine röthliche Farbe aus, er läßt sich zur Zeit seiner Opposition, d. h. wenn die Erde nahe zwischen ihm und der Sonne steht, am besten beobachten, da er dann der Erde am nächsten und die ganze Nacht sichtbar ist (dasselbe gilt für alle äußern Planeten). Man weiß deswegen auch von seiner Ober-

fläche etwas mehr, als von Venus und Merkur. Seine Umdrehungszeit, aus der Bewegung der Flecken seiner Oberfläche (Fig. 30) geschlossen, ist wenig größer als 24 Stunden, und die Pole der Axe, um die er sich dreht, fallen innerhalb zweier weißer Flecke, die schon lange für Eis- und Schneefelder gehalten wurden, und die es zweifellos auch sind, da sich ihre Gestalt und Größe den

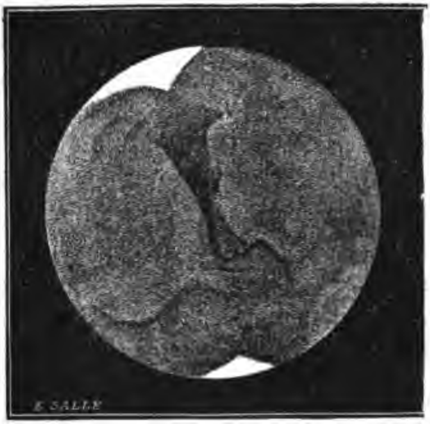


Fig. 30.

Jahreszeiten des Mars entsprechend ändern. Es ist sonach auch kein Zweifel, daß er eine Atmosphäre besitzt. Seine lichtreflectirende Kraft (S. 146) entspricht der des weißen Sandsteins, vielleicht unter Mitwirkung der Schneeflecken, da frisch gefallener Schnee noch 3mal so viel Licht zurückwirft, als weißer Sandstein.

Die Planetoiden. Wenn man die Zahlen, welche die mittlern Entfernungen der Planeten von der Sonne in Millionen Meilen ausdrücken, nämlich:

Merkur	Venus	Erde	Mars
7,8	14,5	20	30,5
Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
104,1	190,8	383,7	601,4

näher betrachtet, so kann man darin eine Regelmäßigkeit finden, welche dadurch ausgedrückt ist, daß man zur Entfernung des Merkur — diese zu 8 Millionen Meilen angenommen — einmal sechs, dann zweimal sechs, viermal sechs, achtmal sechs u. s. w. hinzu zu rechnen hat, um die Entfernungen der folgenden Planeten zu erhalten. Es ergeben sich nämlich so die Zahlen:

8, 14, 20, 32, 56, 104, 200, 392, 776,

welche mit Ausnahme der letzten nahe genug mit den oben gegebenen übereinstimmen, nur fehlt für die Zahl 56 ein Repräsentant. Schon Kepler bei seinen Versuchen, die fünf damals bekannten Planeten in Beziehung auf ihre Entfernung von der Sonne einer gesetzmäßigen Ordnung zu unterwerfen, stieß zwischen Mars und Jupiter auf Schwierigkeiten und war geneigt in der Kluft zwischen beiden einen wegen seiner Kleinheit unsichtbaren Planeten anzunehmen. Auf die oben gegebene Zahlenreihe kam zuerst Titius (1772), sie wurde von Bode und Wurm den Verhältnissen noch etwas mehr angepaßt, ihre Genauigkeit hat aber freilich nun durch Neptun einen bedeutenden Stoß erlitten. Man kann nicht sagen, daß die Erkenntniß dieser Gesetzmäßigkeit die Entdeckung der Planetoiden herbeigeführt habe, aber sie hat wenigstens

auf dieselbe vorbereitet und mit der Ausfüllung der Lücke als etwas erwartetem schneller vertraut gemacht. Piazzi in Palermo entdeckte am 1. Januar 1801, als er sich mit Berichtigung eines Fixsternverzeichnisses abgab, einen Stern achter Größe, der in seinem Verzeichnisse nicht zu finden war; und als er ihn, wie das bei solchen Arbeiten die Regel ist, mehrere Abende nach einander beobachtete, fand er, daß er seine Lage merklich geändert hatte, also ein Planet, kein Fixstern war. Ehe bei den damaligen Verkehrsmitteln eine Mittheilung darüber an größere Sternwarten gelangte, war der kleine Planet der Sonne so nahe gekommen, daß seine Aufsuchung unmöglich war: man hatte also zunächst nur die Beobachtungen von Piazzi vom 1. Januar bis 11. Februar, also von 41 Tagen, in welchem Zeitraum etwa der 40ste Theil des Umlaufs zurückgelegt war. Die Aufgabe, aus wenigen Beobachtungen eines Planeten die ganze Bahn zu bestimmen und den Ort des Planeten für spätere beliebige Zeiten voraus zu berechnen, mußte gelöst werden, wenn der neue Planet, der den Namen Ceres erhielt, nicht wieder verloren gehen sollte. Gauß war es, welcher dieses den Astronomen neue Problem löste, indem er zeigte, daß drei Beobachtungen eines Planeten oder Kometen zur Bestimmung der ganzen Bahn genügen, und wie man aus ihnen die Bahn finden könne. Nach dieser Anleitung war es Olbers möglich, am 1. Januar 1802 die Ceres wieder zu finden und damit das Werk des jungen Gauß zu krönen. Im folgenden Jahr bei Beobachtung der Ceres fand Olbers einen Stern siebenter Größe an einem Ort, von dem er wußte, daß sonst kein Stern daselbst

gestanden war. Eine weitere Beobachtung zeigte ihm, daß abermals ein kleiner Planet gefunden sei, der ebenfalls in die Lücke zwischen Mars und Jupiter fiel und den Namen Pallas erhielt. Es lag nun der Gedanke nahe, den Olbers von da an auszubeuten suchte, daß diese zwei kleinen Körper, die man statt eines größern Planeten gefunden hatte, Trümmer eines größern seien und daß wohl noch weitere Trümmer zu finden seien. Da aber jeder Körper, der in Folge der Anziehung der Sonne eine Bahn um dieselbe beschreibt, wenn nicht besonders große Störungen eintreten, immer wieder nach vollendetem Umlauf zu den Punkten zurückkehrt, wo er vorher gewesen, so mußte man wohl annehmen, daß auch jene Trümmer alle wieder nach bestimmter Zeit zu dem Orte zurückkehren müssen, wo die Zertrümmerung einst erfolgt war, daß also ein Punkt am Himmel sein müsse, wo sich die Bahnen der gefundenen zwei und aller noch aufzufindenden Planetoiden kreuzen müssen. Dieser Punkt war durch die Bahnen von Ceres und Pallas bestimmt und man hatte also nur in der Nähe zu suchen, um die andern Trümmer zu entdecken. Wirklich wurden so von Harding 1804 die Juno und von Olbers 1805 die Vesta gefunden, obgleich sich die letzte dem allgemeinen Kreuzungspunkte nicht mehr recht fügen wollte. Weitere Nachforschungen, bei denen man sich stets an jene Himmelsgegend hielt, führten zu keinem Ziele und so waren die vier Planetoiden — Ceres, Pallas, Juno, Vesta — auf Jahre hinaus die einzigen bekannten.

Erst die genauere Erforschung des Fixsternhimmels, welche vor Allem die sorgfältigsten Sternkarten und Fix-

sternverzeichnisse verlangte, machte weitere Fortschritte möglich. Bessel in Königsberg, Encke in Berlin, Argelander in Bonn katalogisirten systematisch alle Sterne bis zu bestimmter Größe in den verschiedensten Gegenden des Himmels, und nun war die Aufgabe, neue Planetoiden zu finden, darauf reducirt, jene Sternkarten und Sternverzeichnisse immer wieder mit dem am Himmel Gesehenen zu vergleichen. Schon die erste der Berliner Sternkarten ließ den Postmeister Hencke in Driesen, einen Liebhaber der Astronomie, den ersten weitern Planetoid, die Asträa, im Jahr 1845 entdecken. Seit dem folgte sich Entdeckung auf Entdeckung, bis zu zehn und zwölf in einem Jahr, allerdings meist immer lichtschwächere, so daß jetzt schon 109 Planetoiden bekannt sind und ein Ende sich nicht absehen läßt. Nicht gering ist die Arbeit, die dadurch der rechnenden Astronomie zugefallen ist: vor zwanzig Jahren noch waren für die astronomischen Jahrbücher die Bahnen von zehn Planeten zu berechnen, heute sind es zwölfmal so viel.

Alle bewegen sich in Bahnen, die zwischen der Marsbahn und Jupitersbahn liegen, die einen Ring ausfüllen, dessen Breite gleich dem Halbmesser der Marsbahn ist, mit Umlaufszeiten von 1200 bis 2300 Tagen (Mars braucht 687, Jupiter 4330 Tage zu einem Umlauf); in Bahnen, die bis über dreißig Grade gegen die Erdbahn geneigt sind, die sich im Allgemeinen der Kreisform nähern wie die der übrigen Planeten, aber auch von ihr noch mehr als Merkur abweichen, doch immerhin nicht soweit, daß kometenartige, ausgesprochen elliptische Bahnen vorkämen. Nur von wenigen ist eine directe Bestimmung

der Größe möglich, bei der großen Mehrzahl kann man dieselbe nur nach der Lichtstärke abschätzen, indem man bei allen gleiche lichtreflectirende Kraft voraussetzt.

Sind diese kleinen Körper Trümmer eines großen? werden sie wieder theilweise zusammenstoßen und neue Trümmer bilden? Können sie in dieser großen Zahl zwischen Mars und Jupiter mit ihren Bahnen bestehen bleiben? Diese Fragen lassen sich bis jetzt noch nicht beantworten, die Zeit ihres Bekanntseins ist zu kurz; wohl aber haben sie Interesse genug für die Astronomen, daß diese sich der zeitraubenden Arbeit unterziehen, sie beständig im Auge zu behalten, damit sie nicht wieder verloren gehen: der Berliner Sternwarte gebührt die Ehre, diese Sorge auf sich genommen zu haben.

Jenseits des Planetoidenrings beginnen die größern, weniger dichten Planeten mit einer größern Zahl von Monden und kurzen Umdrehungszeiten. Der erste ist Jupiter, der größte aller Planeten. Seine Oberfläche zeigt (Fig. 31) eigenthümliche helle und dunkle Streifen und Flecken, die ihre eigene stürmische Bewegung haben und wohl wie die Sonnenflecken als Wolkengebilde zu betrachten sind. Man hat aus ihrer Bewegung auf eine Umdrehungszeit von etwa 10 Stunden geschlossen. Die vier Monde Jupiters hat Galiläi (1610) zuerst beobachtet, sie sind schon durch ganz gewöhnliche Fernröhren, sogar für ausnahmsweise scharfe Augen sichtbar: da sie hell wie Sterne sechster Größe glänzen, so rührt bei klarem Himmel ihre Unsichtbarkeit nur daher, daß die Jupiterscheibe zu nahe ist. Es wird dadurch das Auge geblendet und es sind namentlich die von dem hellglänzenden Jupiter

ausgehenden Strahlen, welche die Monde geradezu bedecken. Diese Strahlen sind nur scheinbar, wie die von einer entfernten Gasflamme ausgehenden, in der Zahl sechs oder acht; sie rühren vom eigenthümlichen Bau des Auges ab, wie man sogleich daran sieht, daß sie sich, wenn man den Kopf in andere Lage bringt, mitbewegen; es scheint aber Augen zu geben, welche nahezu keine solche

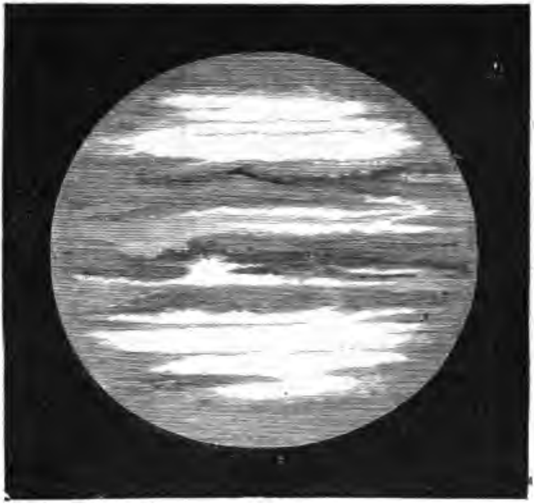


Fig. 31.

Strahlen, also die Sterne als wirkliche Punkte sehen, und solche sollten die Jupitersbegleiter auch ohne Fernrohr beobachten können. Wie diese Monde uns die erste Nachricht gegeben haben, daß das Licht eine bestimmte Zeit brauche, um einen gegebenen Raum zu durchlaufen, haben wir oben gesehen, ebenso daß die Helligkeit Jupiters auf eigenes Licht hinzudeuten scheint.

Saturn zeigt an seiner Oberfläche ähnliche Streifen wie Jupiter: man hat aus ihrer Bewegung auf eine Umdrehungszeit von beiläufig 10½ Stunden geschlossen. Sein System ist das reichste: er besitzt acht Trabanten und frei über seinem Aequator schwebt ein flacher Ring, den Galiläi zuerst beobachtet, aber als solchen nicht erkannt hat. Erst Huyghens erklärte die henkelartigen Ansätze des Saturn, wie sie sich bei nicht zu starker Ver-

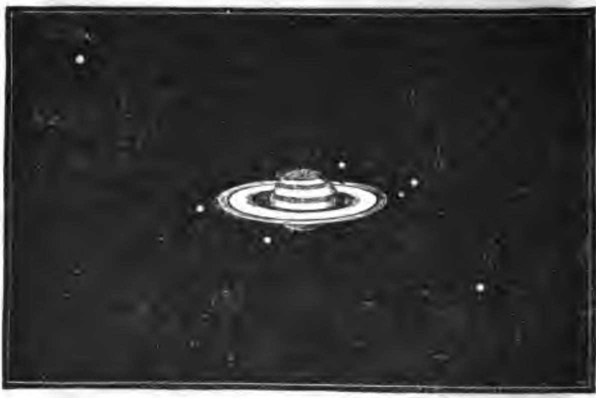


Fig. 32.

größerung zeigen, durch die Annahme eines freischwebenden Rings (siehe Fig. 32 und 33). Cassini fand, daß der Ring aus zwei Theilen bestehe, die durch eine freie dunkle Linie getrennt sind. Später wurden noch mehr Trennungsspalten entdeckt, so daß vielleicht eine Mehrtheilung des Rings stattfindet. Vermöge der Lage der Umdrehungsaxe des Saturn sehen wir den Ring bald von oben, bald von unten; zwischenhinein stellt er sich in die

Ebene der Saturnsbahn und verschwindet dann, da er sehr schmal ist, vollständig für uns. In den 29½ Jahren

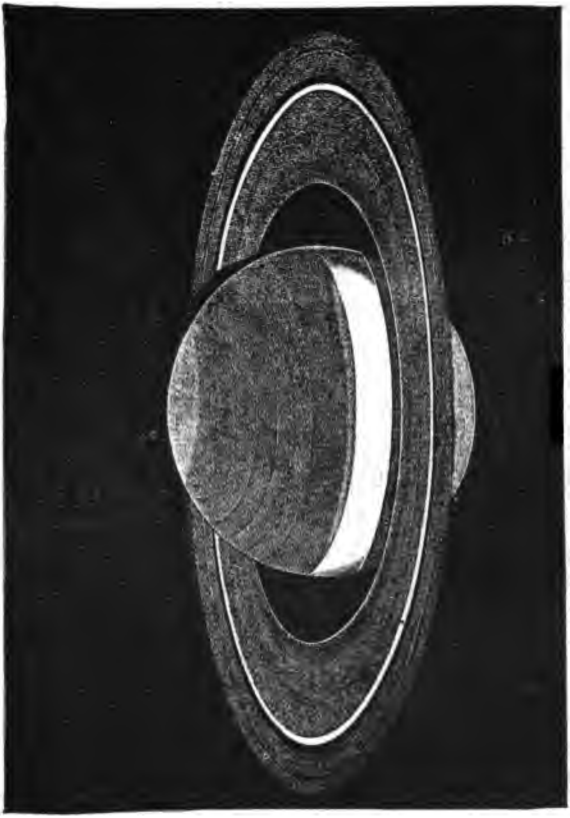


Fig. 33.

welche Saturn zu seinem Umlauf um die Sonne braucht, verschwindet zweimal der Ring, zweimal erscheint er am ausgedehntesten: im Sternbild des Löwen und des Wasser=

manns ist der Ring unsichtbar, im Stier und Skorpion ist die Ringöffnung am weitesten. Im letzten Sternbild ist er im laufenden Jahr (1870).

Auf Saturn, den äußersten der vor einem Jahrhundert bekannten Planeten, folgt Uranus, von Herschel am 13. März 1781 daran erkannt, daß er bei beträchtlicher Vergrößerung nicht als Punkt, sondern als kleine Scheibe erschien, so daß an einen Fixstern nicht gedacht werden konnte: er war schon früher beobachtet, aber nicht als Planet erkannt worden. Nach den neuesten Beobachtungen von Lassell auf Malta hat er vier Trabanten, von denen zwei jedenfalls rückläufig sind, nicht von West nach Ost, sondern umgekehrt um den Planeten sich bewegen — die einzige bis jetzt constatirte Ausnahme des allgemeinen Gesetzes.

Der äußerste der uns jetzt bekannten Planeten ist Neptun, dessen Auffindung durch Leverrier im Jahr 1846 ein Ergebniß der großen Ausbildung der heutigen rechnenden Astronomie ist. Die Bewegung des Uranus zeigte schon im Anfang unseres Jahrhunderts Ungleichheiten, welche sich nicht in die Theorie einfügen wollten; es zeigten sich Abweichungen, die schon Bessel bestimmten, nach der Ursache zu forschen und einen unbekannten Planeten aufzusuchen, welcher jene Störungen hervorbringen könne. Er kam jedoch nicht zur Ausführung dieser Arbeit; auf Arago's Rath machte sich Leverrier an die Rechnung und gab am 31. August 1846 die Lage des neuen Planeten an, wie sie sein müsse, um die Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Uranus zu erklären, und am 23. September darauf gelang es Galle in

Berlin ihn aufzufinden. Als wirklich vorhanden ist bis jetzt nur ein einziger Trabant constatirt.

Drei verschiedene Arten der Planetenentdeckungen haben wir kennen gelernt. Uranus wurde daran erkannt, daß er bei starker Vergrößerung als Scheibe sich zeigt, nicht als Punkt, wie die Fixsterne; die Planetoiden werden an ihrer Bewegung unter den Fixsternen mit Hilfe der sorgfältigsten Sternkarten erkannt, und die Auffindung des Neptun beruhte auf dem rechnenden Suchen nach einer Ursache der Störungen der nächsten Planetenbahn, die sich auf andere Weise nicht erklären ließen. Es ist nicht zu erwarten, daß noch ein Planet wie Uranus an der Scheibe erkannt werde, da der Himmel jetzt schon nach allen Seiten hin mit den größten, mächtigsten Instrumenten durchsucht ist. Dagegen wird man durch Vergleichung mit den Fixsternkarten wohl noch lange neue Planetoiden finden, freilich im Durchschnitt immer kleinere: denn je stärkere Instrumente man anwendet, desto kleinere, lichtschwächere Sterne sieht man, und je weiter man in der Katalogisirung der kleinsten Sterne vorwärts schreitet, desto mehr davon werden sich als Planetoiden ausweisen. Die dritte Art der Auffindung von Planeten durch ihre Einwirkung auf bekannte verlangt eine sehr genaue Kenntniß der Planetenbewegungen und zeitraubende Rechnungen. Noch nicht ganz aufgeklärte Abweichungen bei den Bahnen des Merkur und der Venus ließen Leverrier nach einem weitern Planeten zwischen Merkur und Sonne forschen, bis jetzt noch ohne Resultat. Die neuesten Untersuchungen von Newkomb über die Bahn des Neptun lassen es noch nicht als nothwendig er=

scheinen, einen Planeten in noch größerer Entfernung von der Sonne anzunehmen; doch ist damit nicht gesagt, daß die Neptunsbahn in einer Entfernung von 600 Millionen Meilen von der Sonne die äußerste Grenzmarke unseres Sonnensystems wäre.

---

3. Der Mond und das Zodiakallicht.

Wir rücken nun immer näher an den Planeten, der unser Standpunkt bei Betrachtung der übrigen ist, und es käme jetzt als nächster zu betrachtender Weltkörper der uns so nahe Mond, wenn nicht vorher noch eine räthselhafte Erscheinung erwähnt werden müßte, die vielleicht jenseits, vielleicht aber auch diesseits des Monds ihren Sitz hat.

In den klaren Morgen- und Abendstunden des Frühlings und Herbstes sieht der aufmerksame Beobachter vor Sonnenaufgang oder nach Sonnenuntergang einen matten Schimmer, dem der Milchstraße vergleichbar, von einer breiten Basis, die auf die Sonne hinweist, längs der Ekliptik aufsteigen und allmählich in eine Spitze zusammengehen, die 70, 80 oder auch 90 Grad von der Sonne absteht. Die südlichern Gegenden mit ihrem klareren Himmel zeigen diese unter dem Namen „Zodiakallicht" bekannte Erscheinung ganz regelmäßig und Alexander von Humboldt rühmt häufig auf seiner amerikanischen Reise den Reiz, den dieses milde, die Milchstraße nicht selten an Glanz übertreffende Licht dem klaren Sternenhimmel ertheile. Sonderbar ist, daß die Alten, daß insbesondere

die Araber trotz ihres die Beobachtung begünstigenden Himmels nie etwas von diesem Licht anführen. Soll man annehmen, daß es sich erst in späterer Zeit gebildet habe, daß es ein Dunstring sei, der wie die Asteroiden von außen in das Sonnensystem eingedrungen und zwar erst vor wenigen Jahrhunderten eingedrungen sei? Und wo soll dieser dunstartige Ring schweben? um die Sonne als Mittelpunkt, oder wie Heis glaubt, um die Erde innerhalb der Mondsbahn? Es ist nicht möglich, auf diese Fragen schon jetzt bestimmte Antwort zu geben. Die Verschwommenheit der Grenzen machen es äußerst schwierig, aus den Beobachtungen Sicheres über die Dimensionen und die genaue Lage abzuleiten, und wir wollen es deswegen einem phantasiereichen Liebhaber der Astronomie nicht verdenken, wenn er in einem neuerdings erschienenen Schriftchen hofft, es werde sich aus diesem Nebelring ein zweiter Mond der Erde bilden: wenn auch wir es nicht mehr erleben, so werden unsere Urenkel vielleicht das die Jugend so anmuthende Mondlicht doppelt genießen und in die Gefühle der Jupiters- und Saturnbewohner sich eher hineindenken können.

Vorerst aber müssen wir uns mit unserm einzigen Monde begnügen, er macht den Astronomen ohnehin schon mehr Mühe, als der kleine Himmelskörper zu verdienen scheint. In der That, die Beschaffenheit seiner Oberfläche, die Einwirkung auf die Wassermassen der Erde und auf die Erde als Ganzes, die vielfachen Unregelmäßigkeiten seiner Bahn haben ihn zu einem der wichtigsten Gegenstände der astronomischen Forschung gemacht und ihm die specielle Aufmerksamkeit der ersten Astronomen zugezogen.

Schon die unmittelbare Beobachtung, besser die Betrachtung mit einem gewöhnlichen Fernrohr läßt erkennen, daß die Oberfläche des Monds in Beziehung auf Helligkeit sehr bedeutende Unterschiede zeigt. Dem uns von ihm zugesendeten Licht kommen im Spectroskop keine andern, als die Sonnenlinien zu, und nach Zöllner's Bestimmung ist, wie schon früher angeführt wurde, seine lichtreflectirende Kraft ungefähr die des Thonmergels; eigene Leuchtkraft scheint er somit nicht zu besitzen, so daß die verschiedene Helligkeit nur von verschiedener Bodenbeschaffenheit oder von ungleicher Bodengestaltung herrührt. Daß die Mondsoberfläche sehr uneben ist, zeigt sich schon in gewöhnlichen Fernröhren an der Aenderung der Schatten bei verschiedener Sonnenbeleuchtung. Man schließt aus diesen Schatten leicht auf eine überaus große Zahl ringförmiger Erhebungen, in deren Mitte wieder ein Hügel aufsteigt, also Gebilde, die unsern Vulkanen mit Kratern entsprechen (Fig. 34 und Tafel IV.), theils in größern Massen zusammengedrängt, theils einzeln auf ausgedehnten, gleichmäßig schwach beleuchteten Flächen, denen mit Unrecht der Name „Meer" gegeben worden ist. Aus der Länge des Schattens bei bekannter Richtung der Sonnenstrahlen kann man die Höhen dieser Erhebungen bestimmen und wir dürfen sie mit Recht Gebirge nennen, da sie die Höhe unserer Berge der absoluten Zahl nach übertreffen, also mit Rücksicht auf den viel kleinern Halbmesser des Monds gegenüber den Erdbergen ganz kolossale Dimensionen haben. Bis zu 5000 Meter erheben sie sich über ihre nächste Umgebung. Auf der Erde beziehen wir die Höhe eines Berges auf das Niveau des Meeres,

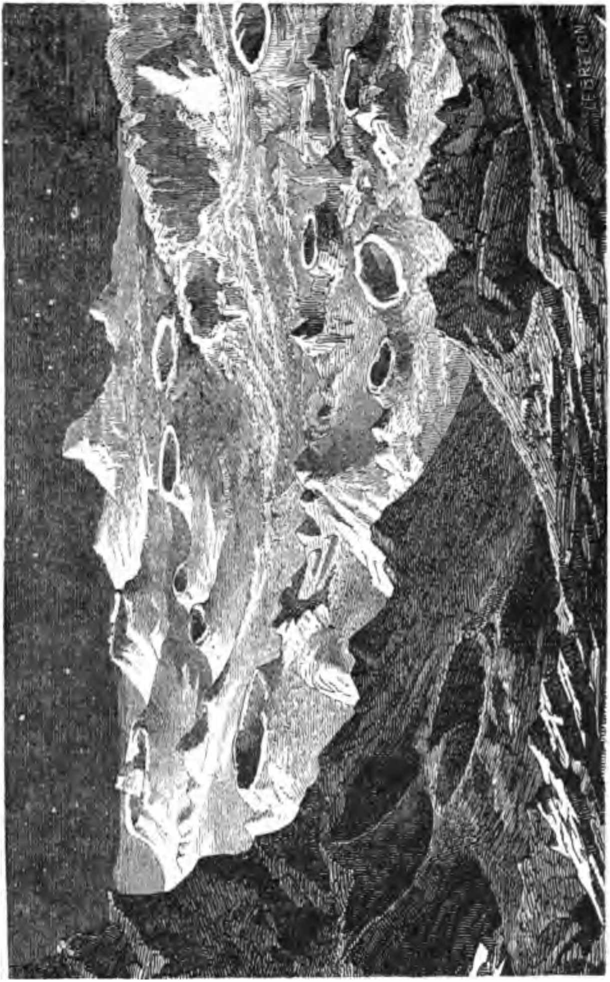


Fig. 34.

welches wir als normale Oberfläche der Erde betrachten, um einen richtigen Maßstab für die absolute Höhe zu haben, die mit Rücksicht auf Klima allein maßgebend sein kann. Auf dem Mond gibt es keine solche Oberfläche, da er kein Wasser hat. Wir können die Höhen immer nur mit der nächsten Umgebung vergleichen; finden wir dabei Unterschiede bis 5000 Meter, so ist die Schätzung von Schmidt in Athen, daß es absolute Höhenunterschiede von 10000 Metern gebe, sicher nicht übertrieben. Seit hundert Jahren gibt es eine detaillirte Mondkarte von Tobias Mayer, die etwa 50 Jahre lang die einzige blieb. Dann aber begann eine eifrige Thätigkeit auf diesem Gebiete durch Lohrmann, durch Beer und Mädler und in der neuesten Zeit durch Schmidt in Athen. Zu Hilfe kam diesen Bestrebungen die Photographie, bei deren Anwendung freilich die verwickelte Bewegung des Monds große Schwierigkeiten machte. Das „lunar comité“ der „british association“ hat es sich zur Hauptaufgabe gemacht, eine große photographische Karte des Monds von 6 Fuß Durchmesser herzustellen. Solche specielle Karten sind von Interesse vor Allem, um einen Einblick in die Aenderungen zu erhalten, die auf der Mondoberfläche vor sich gehen, und dadurch in die treibenden Kräfte, welche ihr die jetzige Gestalt gegeben haben. An dem Krater Linné und noch an einer andern Stelle hat Schmidt schon jetzt eine vor sich gehende Aenderung constatirt und nachgewiesen, daß dieselbe durch langsamen Ausfluß von Massen, die längs des äußern Kraterrands abfließen, am besten sich erklären läßt, ein Vorgang, der sich ganz mit den Schlammvulkanen auf der Erde vergleichen läßt.

Wir sehen von der Erde aus immer dieselbe Hälfte der Mondoberfläche, er wendet uns dieselbe Seite zu, so daß er also für einen außerhalb der Mondsbahn befindlichen Beobachter in derselben Zeit, in welcher er sich um die Erde bewegt, eine Drehung um seine Axe ausführt. Doch ist nicht immer genau derselbe Punkt der der Erde nächste, es findet eine kleine Schwankung — Libration — statt, in Folge der wir bald auf der einen, bald auf der andern Seite noch Theile der bei der Mittellage von uns abgekehrten Hälfte sehen. Man hat in der neuern Zeit eine schöne Anwendung von dieser Frontveränderung des Monds gemacht, um stereoskopische Bilder desselben zu erhalten. Da zu einem stereoskopischen Bilde zwei Abbildungen eines Gegenstandes von verschiedenen Standpunkten aus nöthig sind, so könnte man etwa zu gleicher Zeit an verschiedenen Orten der Erde den Mond aufnehmen und die zwei Bilder zu einer stereoskopischen Darstellung benützen. Diese Standpunkte müßten aber bei der im Verhältniß zu allen Erddimensionen bedeutenden Entfernung des Monds sehr weit auseinander liegen, um merklich verschiedene Ansichten zu erhalten (in den gewöhnlichen stereoskopischen Bildern läßt sich ja keine Verschiedenheit des weit abliegenden Hintergrunds z. B. einer Landschaft nachweisen), bequemer wird es deshalb sein, nachdem eine Aufnahme des Monds gemacht ist, zu warten bis in Folge der Libration der Anblick des Monds ein anderer geworden ist: dann läßt sich eine neue Aufnahme mit der ersten zu einem stereoskopischen Bilde vereinigen, wenn beidemal nahe gleiche Beleuchtung (d. h. beidemal Vollmond, oder beidemal erstes Viertel u. s. w.),

stattgefunden hat. Solche stereoskopische Abbildungen des Monds lassen ihn als kleine Kugel erscheinen, als nachgemachtes kleines Modell, wie eine Landschaft im Telestereoskop erscheint.*) Wenn dabei der Mond nicht den Eindruck einer Kugel macht, so liegt der Grund nicht darin, daß seine Form wirklich von der Kugelform abweicht, sondern in dem verschiedenen Verziehen der zwei Bilder beim Aufkleben, denn verschiedene Bilder geben sehr verschiedene Abweichungen von der Kugelform.

Die Figur 35 soll eine Vorstellung davon geben, woher die Libration rührt. Der Mond ist auf seiner Bahn in sechs verschiedenen Lagen gezeichnet. Der in der ersten Lage gezeichnete Halbmesser des Monds, der gegen die Erde in der Mitte gerichtet ist, würde, wenn sich der Mond nicht um seine Axe drehen würde, in den folgenden Lagen (2 bis 6) gleiche Richtung behalten, wie die gestrichelten Halbmesser andeuten; man würde von der Erde aus immer andere Theile der Mondoberfläche sehen, nach einem halben Umlauf wäre der der Erde Anfangs zugekehrte Halbmesser gerade von ihr abgekehrt; man würde, wenn man zuerst die Vorderseite des Monds gesehen hat, jetzt die Rückseite sehen. Da sich nun aber der Mond um seine Axe dreht in derselben Zeit, in der er seine Bahn zurücklegt und in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung, so hat in der Zeit von der ersten zur zweiten Lage, deren Abstand einem Sechstel der ganzen Bahn entspricht, auch der Mond um seine Axe ein Sechstel einer Umdrehung zurückgelegt, und der in der zweiten Lage

*) Pisko, Licht und Farbe. S. 219.

gezeichnete gestrichelte Halbmesser ist in der That in die Lage des ganz ausgezogenen Halbmessers gelangt, ist also wieder genau der Erde zugewendet. Wenn jetzt beim Uebergang von der zweiten zur dritten Lage, deren Abstand wieder ein Sechstel der Bahnlänge ist, der Mond auf seiner elliptischen Bahn sich verzögert, so hat sich in dieser Zeit der der Erde zugewendete Halbmesser im Sinn des Pfeils zu viel

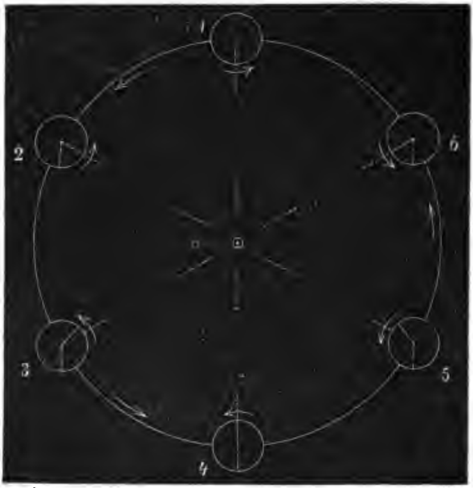


Fig. 35.

bewegt: denn die Zeit, die der Mond von der zweiten zur dritten Lage gebraucht hat, ist größer als der sechste Theil seiner Umdrehung, er hat also, da die Axenbewegung gleichförmig ist, mehr als ein Sechstel einer Umdrehung zurückgelegt. Der ursprünglich der Erde zugewendete Halbmesser erscheint jetzt im Verhältniß zum Mittelpunkt der Mondscheibe nach rechts gewendet, man sieht links etwas

von der vorher unsichtbaren Mondhälfte. Geht nun der Mond in seiner Bahn wieder schneller, so stellt sich zunächst in der vierten Lage der ursprüngliche Zustand wieder her, weil jener Halbmesser zurückbleibt, und wenn die Beschleunigung fortdauert, so erhält man die 5. Lage, wo der Anfangs der Erde zugewendete Halbmesser im Verhältnisse zum Mittelpunkt der Mondscheibe nach links verschoben erscheint, so daß man jetzt auf der rechten Seite etwas mehr sieht, als ursprünglich. Tritt dann wieder Verzögerung ein, so stellt sich das ursprüngliche Verhältniß von Neuem her.

Daß der Mond zu einer Bewegung um die Erde auf seiner Bahn gerade so viel Zeit braucht, als zu einer Axendrehung, oder daß er, was auf dasselbe hinauskommt, abgesehen von den kleinen eben betrachteten Schwankungen immer wieder in gleicher Art sich zur Erde zu stellen, dieselben Theile seiner Oberfläche ihr zuzukehren sucht, kann nicht bloßer Zufall sein. Hansen kam aus der sorgfältigsten Untersuchung der Mondsbahn zu dem Schluß, daß der der Erde zugekehrte Theil des Monds weniger dicht sein müsse, als der abgekehrte, und daß daher jenes Bestreben immer gleicher Stellung rühre. Man verschaffe sich eine runde Scheibe von gleichmäßigem innern Gefüge und stelle sie auf den Rand auf einem ebenen Tisch: sie wird, wenn sie gut gearbeitet und der Tisch eben und horizontal ist, in jeder Lage im Gleichgewicht sein können. Nun nehme man ein Stück der Scheibe heraus, bohre etwa gegen den Rand hin ein nicht zu kleines Loch aus: jetzt wird die Scheibe nur in ganz bestimmten Lagen im Gleichgewicht sein können, entweder wenn das Loch

seine tiefste, oder wenn es seine höchste Lage hat; im ersten Fall wird bei dem kleinsten Anstoß ein Umschlagen in die zweite Lage erfolgen, wo das Loch am höchsten, also der Schwerpunkt am tiefsten liegt, und in diese Lage kehrt die Scheibe immer wieder zurück, man mag ihr nun eine größere oder kleinere Drehung nach dieser oder jener Seite geben. Die dichtere Seite, diejenige, wo nichts weggenommen worden ist, kehrt sich also immer wieder gegen die Unterlage. Befestigt man die Scheibe an einem Faden, so daß sie sich noch um ihre Axe drehen kann, und dreht sie am Faden im Kreise herum, so stellt sich ihr dichterer Theil in Folge der Centrifugalkraft möglichst weit vom Mittelpunkt weg. In ähnlicher Weise wird also auch der dichtere Theil des Monds das Bestreben haben, sich von der Erde abzukehren.

Wenn der Mond auch nahe eine Kugel ist, so ist doch die Masse der Kugel verschieden vertheilt, der Schwerpunkt fällt also nicht mit der Mitte der Kugel zusammen, er ist entfernter von der Erde, nach Hansen's Untersuchungen etwa 8 Meilen jenseits. Daraus ergeben sich aber wichtige Folgerungen für die Oberflächenbeschaffenheit des Monds: da sich nämlich die Anlagerung einer Atmosphäre nach dem Schwerpunkt als Mittelpunkt richten muß, weil eben die Gasschichten durch die Anziehung zurückgehalten werden und in gleichem Abstand vom Anziehungsmittelpunkt gleiche Dichte haben, so kann die Atmosphäre rings um den Mond nicht gleichförmig abgelagert sein. Beschreibt man um den Schwerpunkt des Monds als Mittelpunkt eine Kugel, deren Halbmesser der Mondhalbmesser ist, so fällt die Oberfläche derselben

diesseits, d. h. gegen die Erde hin, ganz unterhalb der Mondoberfläche, jenseits dagegen bis zu 8 Meilen über die Mondoberfläche, und eine Kugel mit einem 8 Meilen größern Halbmesser würde diesseits gerade noch die Mondoberfläche berühren, jenseits aber bis zu 16 Meilen über dieselbe sich erheben. Hat also der Mond eine Atmosphäre, so ist diese diesseits an dem der Erde nächsten Punkt nicht dichter, als in einer Höhe von 16 Meilen jenseits an dem von uns entferntesten Theil. Wäre auch an der jenseitigen Mondoberfläche, was wegen der kleinen Masse des Monds sicher nicht der Fall ist, die Dichte der Atmosphäre so groß wie auf der Erde im Niveau des Meers, so wäre in einer Höhe von 8 oder gar 16 Meilen die Dichte so gering, daß alle unsere künstlichen Mittel kaum hinreichten, etwas Aehnliches darzustellen: d. h. wenn auch auf der uns unsichtbaren Seite der Mond eine der irdischen ähnliche Atmosphäre hat, am Rande oder gar an den uns nächsten Theilen seiner Oberfläche muß sie so dünn sein, daß wir sie kaum mehr Atmosphäre nennen dürfen. Damit stimmt vollkommen, daß Sterne plötzlich, nicht allmählich hinter dem Monde verschwinden, daß keine Ablenkung der Lichtstrahlen am Rande des Mondes stattfindet, daß auch das Spectroskop in der Nähe des Mondrandes keine neuen Linien zeigt, die etwa durch Lichtabsorption in einer Mondatmosphäre entstanden wären. Nach Bessel kann die Mondatmosphäre, wenn es eine solche gibt, am Rande des Monds nicht den tausendsten Theil der Dichte der Luft an der Erdoberfläche haben, und daraus folgt dann für die uns zugekehrte Seite nothwendig Abwesenheit von Wasser und Wolken, so daß die Ungleich-

heit der Beleuchtung nur auf verschiedener Bodenbeschaffenheit beruhen kann; auf der uns unsichtbaren Seite dagegen kann' der Luftdruck bis zu dem an der Oberfläche unserer Meere stattfindenden steigen, so daß dort Wasser und Wolken anzunehmen wohl erlaubt ist.

Die Bahn des Monds um die Erde hat in der Astronomie wie in der Chronologie eine große Rolle gespielt. Die abwechselnden Lichtgestalten, Vollmond und Neumond, erstes und letztes Viertel, haben zur Eintheilung des Jahres in Monate und Wochen geführt, wie die Bewegung der Erde um die Sonne das Jahr bestimmte; und da der Mondlauf nicht mit dem der Erde stimmte, weil 12 Mondmonate nur etwa 354 Tage geben, so war es lange Zeit Aufgabe des Kalenders, beides irgendwie in Uebereinstimmung zu bringen, ohne daß ein befriedigender Abschluß zu Stande kommen wollte; noch heute leiden wir in Folge des Hereinziehens des Mondes in die Zeitrechnung an unsern beweglichen, nicht immer an gleichen Monatstagen zu feiernden Festen, die dann noch nach willkührlich gegebenen Regeln, nicht nach dem wirklichen Laufe des Mondes bestimmt werden.

Nimmt man die Erdbahn und die Mondbahn als kreisförmig an, die Bewegung beider Körper als gleichförmig, so wird man leicht zu der Ansicht verführt, die Bewegung des Monds in Beziehung auf die als unbewegt angenommene Sonne gehe in einer Bahn vor sich, welche eine Reihe von Schleifen oder Einbiegungen zeige, wie die Radlinien, welche die verschiedenen Punkte eines rollenden Rades beschreiben. Dem ist jedoch nicht so, da der Abstand des Monds von der Erde gegenüber der Sonnen-

weite so sehr klein ist. Wer sich davon überzeugen will, darf nur einen Kreisbogen mit beispielsweise einem Meter Halbmesser beschreiben, der einen Theil der Erdbahn vorstellen soll, auf ihm etwa von Tag zu Tag die Lage der Erde einzeichnen, je zwei Lagen im Abstand von 17 Millimeter, dann um jeden der eingezeichneten Punkte einen Kreis vom Halbmesser 2½ Millimeter beschreiben, um auf ihm die entsprechende Lage des Monds anzugeben: dies geschieht, indem man auf dem ersten Kreis die Lage beliebig, auf jedem folgenden je um den dreißigsten Theil der Mondsbahn, also beiläufig ½ Millimeter weiter vorwärts, einzeichnet. Verbindet man nun die Lagen des Monds von Tag zu Tag, so hat man die Bahn des Monds in Beziehung auf die ruhende Sonne und man überzeugt sich leicht, daß keine Lage innerhalb der Verbindungslinie der vorhergehenden und folgenden fällt, d. h. daß der Mond um die Sonne eine Bahn beschreibt, welche durchweg nach außen gekrümmt ist und nirgends eine Einbiegung zeigt. Es wäre dem Leser wohl anzurathen, eine solche Zeichnung, deren Maßstab für unsere Holzschnitte gar zu groß wäre, selbstständig zu entwerfen, da in dieser Richtung in den Lehrbüchern der Astronomie noch manches Irrige gelehrt wird.

Betrachten wir die scheinbare Bahn des Monds unter den Fixsternen, so können wir zunächst an eine keinem aufmerksamen Beobachter entgehende Thatsache erinnern, daß nämlich die größte Höhe, die der Mond in den verschiedenen Nächten erreicht, oder die Länge des Schattens, die er wirft, sehr verschieden ist, noch verschiedener, als bei der Sonne. Unter einer Breite von 50 Grad erhebt sich die Sonne im Juni bis 63 Grad über den Horizont und

der Schatten eines aufrecht stehenden Mannes ist nur halb so lang als der Mann hoch ist; im December ist die höchste Höhe im Mittag nur 17 Grad, der Schatten wird dreimal so lang, als der aufrecht stehende Körper, der ihn wirft. Die Sonne bewegt sich ja unter den Fixsternen in der sogenannten Ekliptik, welche mit dem Himmelsäquator einen Winkel von beiläufig 23 Grad einschließt, so daß ihre höchsten Stände im Sommer und Winter 23 Grad mehr oder weniger als die Höhe des höchsten Punkts des Himmelsäquators beträgt. Die scheinbare Mondsbahn fällt nicht mit der Ekliptik zusammen, der Mond kann sich von dieser bis auf 5 Grad nach der einen oder andern Seite entfernen. Hat er die größte Entfernung von der Ekliptik erreicht, so nähert er sich ihr in der folgenden Woche, durchschneidet sie und entfernt sich wieder nach der entgegengesetzten Seite bis auf 5 Grad, um dann wieder zurückzukehren, die Ekliptik zum zweitenmal zu kreuzen und am Ende der vierten Woche wieder die ursprüngliche Lage nahezu zu erreichen. Da unsere Aufmerksamkeit auf den Mond vorzugsweise bei Vollmond gerichtet ist, so werden wir leicht verführt, dem Mond zur Zeit des Winters im Allgemeinen eine größere, zur Zeit des Sommers eine kleinere Höhe zuzuschreiben, es gilt dies aber eben nur für den Vollmond; weil dieser der Sonne am Himmel gegenübersteht, so steht er im Winter hoch über dem Aequator, im Sommer tief unterhalb: für den Neumond gilt das Gegentheil, das aber nicht beobachtbar ist. Die Bahn des Monds unter den Fixsternen ist veränderlich, man kann sie nicht wie die der Sonne nach bestimmten Fixsternen bezeichnen. Die Sonne erhebt sich

immer sehr nahe an derselben Stelle — im Frühlingspunkt — über den Aequator, der Mond dagegen kreuzt die Ekliptik schon nach einem Umlauf um die Erde an einer merklich andern Stelle als am Anfang des Umlaufs. Gegenwärtig, in den Jahren 1870 und 1871, entfernt er sich von der Ekliptik am meisten da, wo diese den Aequator schneidet, im Frühlings- und Herbstpunkt, und durchschneidet die Ekliptik in ihrem nördlichsten und südlichsten Punkt, er wird also auch keine größere oder kleinere Höhe als die Sonne erreichen, wenn er am höchsten steht. Nach etwa 5 Jahren findet die Kreuzung der Ekliptik nahe im Aequator statt, die Mondbahn entfernt sich von der Ekliptik am meisten in ihrem nördlichsten Punkt und zwar gegen Norden hin, der Mond erreicht die größte Höhe, zu der er überhaupt gelangen kann; nach weitern 5 Jahren steigt er wie 5 Jahre vorher nie höher als die Sonne und abermals nach 5 Jahren entfernt er sich wieder von der Ekliptik am meisten in ihrem nördlichsten Punkt, aber nach Süden, kann also im ganzen Jahr nicht so hoch steigen als die Sonne. Da Sonnen- und Mondfinsternisse nur stattfinden können, wenn der Mond in der Nähe der Ekliptik steht, so treffen diese gegenwärtig am Anfang oder Ende und in der Mitte des Jahrs ein, nach 5 Jahren etwa im Frühjahr oder Herbst u. s. w. Schon die Chaldäer entdeckten mit Hilfe der Finsternisse die Periode von 223 synodischen Monaten, oder etwas mehr als 18 Jahren, nach deren Ablauf die Ungleichheiten der Mondsbahn in gleicher Weise sich wiederholen, und Thales soll darnach zum erstenmal eine Sonnenfinsterniß vorausgesagt haben. Innerhalb dieser Periode rücken die Kreuz-

ungspunkte der Mondsbahn mit der Ekliptik oder die Mondsknoten stetig auf der Ekliptik rückwärts im Sinne von Ost über Süd nach West, bis sie wieder in die ursprüngliche Lage zurückkehren.

So veränderlich die Lage der Bahn, so veränderlich ist auch die Bewegung in der Bahn selbst, in Folge der Einwirkung der Sonne und der Planeten auf den Mond. Die dadurch hervorgebrachten Störungen sind die am längsten bekannten, weil sie wegen ihrer Größe zuerst auffallen mußten. Ihre Größe rührt einmal daher, daß der Mond im Vergleich mit andern Monden eine beträchtliche Masse hat ($^1/_{80}$ der Erdmasse, während der größte Jupitersmond z. B. nicht $^1/_{10000}$ der Jupitersmasse hat) und dann von der großen Nähe des Monds: wenn ein Fernrohr noch Gegenstände, die unter einem Sehwinkel von einer Secunde sich zeigen, unterscheiden läßt, so beträgt dies in der Entfernung des Monds $^1/_4$ Meile, in der des Jupiters 519 Meilen, d. h. wenn der Mond um mehr als $^1/_4$ Meile von seiner regelmäßigen Bahn abweicht, so wird dies für das Fernrohr sichtbar, beim Jupiter dagegen ist eine Abweichung von mehr als 500 Meilen nöthig, wenn eine solche beobachtet werden soll. Die Störungen bei entfernten Planeten können also viel größer sein und doch unbekannt bleiben, weil sie so weit von uns entfernt sind. Eine dritte Ursache der bedeutenden Mondsstörungen ist die verhältnißmäßig große Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik, eine Neigung die nur von der Bahn des Merkur und einiger Planetoiden übertroffen wird: die Folge ist, daß alle übrigen Planeten wie die Sonne gleichmäßig das Bestreben haben, den Mond der Erdbahn zu

nähern, während nur wenige in entgegengesetztem Sinne wirken: um so größer muß also die Störung sein. Bedenken wir ferner, daß die Erde der der Sonne nächste Körper ist, welcher einen Mond besitzt, und daß die Anziehung der Sonne auf den Mond in Folge dessen etwa den 50sten Theil der Erdanziehung erreicht, so finden wir es begreiflich, wenn schon Hipparch im zweiten Jahrhundert vor Christi Geburt, der Araber Abul Wefa im zehnten Jahrhundert und Tycho im sechszehnten Jahrhundert einzelne Mondstörungen beobachtet und festgestellt haben. Laplace hat zuerst eine vollständige Theorie der complicirten Mondbewegung gegeben, aber noch bis auf die neueste Zeit mangelten Tafeln, um die Bewegung mit der heute wünschenswerthen Genauigkeit feststellen zu können. Hansen in Gotha hat sie jetzt dem Zustand der heutigen Wissenschaft entsprechend hergestellt. So hat die Bewegung am Himmel, welche, weil ihr Mittelpunkt die Erde ist, die einfachste zu sein scheint, dem Astronomen die frühesten und schwersten Räthsel aufgegeben und wird ihn wohl noch auf lange Zeit in Athem erhalten.

---

4. Die Erde.

Wir sind von den Fixsternen zu unserer Sonne, zu den Planeten und schließlich zum Monde herabgestiegen, wir gelangen jetzt zu dem Himmelskörper, auf dem der Mensch seinen Wohnsitz aufgeschlagen hat. Jedes Jahr

wandert er einmal um die Sonne, um die Abwechslung der Jahreszeiten zu genießen, jeden Tag dreht er sich mit der Erde um ihre Axe und freut sich an dem Wechsel von Tag und Nacht. Es ist kein Zweifel, daß auch die übrigen Planeten um Axen sich drehen, nachgewiesen ist die Dauer der Umdrehung nur bei Venus, Mars, Jupiter und Saturn, die Richtung der Axe blos bei den drei letzten. Die Dauer der Axendrehung bedingt die Länge des Tags und der Nacht, sie ist bei Venus und Mars nahe gleich wie bei der Erde, bei den großen Planeten dagegen nicht halb so groß; von viel größerer Bedeutung für die Vertheilung von Licht und Wärme auf einem Planeten ist die Richtung der Axe in Beziehung auf die Bahn. Extrem in dieser Beziehung sind Jupiter und, wie es scheint[1], Uranus: jener hat eine zu seiner Bahn nahe senkrechte, dieser eine nahe in die Bahn fallende Axe. Wenn die Axe genau senkrecht zur Bahn ist, also der Aequator mit der Bahn zusammenfällt, so steht die Sonne beständig senkrecht über dem Aequator, rückt nicht nach Norden, nicht nach Süden, es gibt keine Jahrszeiten, nur Abwechslung von Tag und Nacht; überall auf dem ganzen Himmelskörper ist Tag und Nacht beständig gleich; Wärme und Kälte wechselt nicht im Jahr, sondern nur von Ort zu Ort, indem vom Aequator zu den Polen die Kälte zunimmt, weil die Sonnenstrahlen immer schiefer auffallen. Liegt dagegen die Umdrehungsaxe in der Bahn, also der Aequator senkrecht zur Bahn, so treten die Jahreszeiten am schroffsten auf: zu zwei Zeiten, die wir mit Frühjahrs- und Herbstanfang bezeichnen werden, steht die Sonne senkrecht über dem Aequator, Tag und Nacht ist überall

gleich, dann erhebt sich die Sonne auf der einen Halbkugel, sie steht der Reihe nach senkrecht über allen Parallelkreisen und schließlich über dem Pol, die Sonne geht für die eine Halbkugel, die Sommer hat, gar nicht unter, für die andere gar nicht auf; nach einem halben Jahre haben beide Halbkugeln die Rollen vertauscht. In andern Fällen, bei Mars und Saturn, verhält sich die Sache ganz ähnlich wie bei der Erde, für sie beträgt die Neigung des Aequators gegen die Bahnebene zwischen 20 und 30 Graden: die Sonne erhebt sich über den Aequator nördlich und südlich, kann aber nur über einer beschränkten Zahl von Parallelkreisen senkrecht stehen, über allen, die der heißen Zone angehören, sie kann einen ganzen Tag oder noch länger bis zu einem halben Jahr unsichtbar sein für die Orte in der Nähe der Pole, in den kalten Zonen. Zwischen der heißen und kalten Zone liegt aber immer eine gemäßigte, die nie die Sonne im Scheitel aber auch nie einen ganzen Tag lang unter dem Horizont hat. Ganz eigenthümlich würden dagegen die Verhältnisse bei der Venus sich gestalten, wenn man annehmen darf, daß ihr Aequator eine Neigung von 72 Grad gegen ihre Bahn hat, bei ihr würde dann die heiße Zone übergreifen in die kalte und eine gemäßigte wäre nicht vorhanden. An einem und demselben Orte könnte zu einer Zeit die Sonne im Scheitel stehen und zu einer andern Zeit gar nicht aufgehen.

Die Richtung der Umdrehungsaxe hängt wesentlich von der Form eines Körpers ab: für jeden Körper gibt es, wie die Mechanik lehrt, bestimmte Axen, um die er sich bleibend drehen kann: versucht man es, den Körper um eine andere Axe zu drehen, so ändert sich die Bewegung

stetig in der Art, daß die Drehaxe im Innern des Körpers eine andere wird, bis sie mit einer jener „freien Axen“ wie sie in der Mechanik heißen, zusammenfällt; und sowie das geschehen ist, sucht diese Drehaxe auch ihre Lage im Raum beizubehalten. Man hänge einen Ring an einem Faden auf, er wird sich zunächst in eine vertikale Ebene stellen: nun werde der Anknüpfungspunkt des Fadens gleichmäßig gedreht, am einfachsten vermittelst einer kleinen Schwungmaschine (Fig. 36), dann beginnt auch der Ring sich zu drehen, und je größer seine Geschwindigkeit wird, desto mehr richtet er sich auf, bis er ganz in einer horizontalen Ebene sich bewegt. Obgleich die Schwerkraft dieser Bewegung entgegenwirkt, hat sich doch die Drehaxe des Rings geändert, bis sie mit seiner Hauptaxe zusammenfiel. Der Kreisel der Kinder bleibt aufrecht stehen, sobald er in Drehung erhalten wird, und der Taschenspieler kann einen Teller auf einem Stabe im Gleichgewicht halten, wenn er ihn zuvor in rasche Drehung um eine zu seiner breiten Fläche senkrechte Axe versetzt hat, so daß er sich in sich selbst dreht, er kann ihn in die Höhe werfen und wieder auffangen, ohne befürchten zu müssen, daß er umschlägt: die Drehaxe sucht ihre Lage im Raum beizubehalten. So haben auch die Planeten nach ihrer Ablösung von der ursprünglich vereinigten Masse ihre Drehaxen gesucht und gefunden; wenn sie bei den verschiedenen Planeten verschieden gerichtet sind, so rührt dies daher, daß ihre Lage nach der Form des abgelösten Körpers sich richtete. Vielleicht wurden die jetzigen Drehaxen erst erreicht, als die Erstarrung begann, jedenfalls aber müssen sie von da an im Innern der Planeten und im Raum an derselben Stelle

bleiben, wenn nicht besondere Einwirkungen von außen oder Aenderungen der Form eintreten. Was nun die Erde betrifft, so müssen wir sagen, daß allerdings eine beständige Aenderung der Vertheilung der Massen auf der



Fig. 36.

Erdoberfläche stattfindet und daß deßwegen auch die Lage der Erdaxe im Innern der Erde beständig sich ändert. Jeder Schritt, den wir machen, hat eine Verschiebung einer Masse auf der Erde und somit eine Axenänderung zur Folge, jeder Bahnzug, der in Bewegung begriffen ist,

jedes Schiff, das durch den Ocean segelt, alles auf der Erde sich bewegende ändert die Lage der Erdaxe. Denken wir vollends an die Ausbeutung des Innern der Erde, an die allmähliche Fortschaffung ganzer Kohlen- und Erzlager, so ist wohl die Frage gerechtfertigt: hat man schon eine Aenderung der Erdaxe in Beziehung zur Erde beobachtet? Die Antwort ist ein unbedingtes Nein! Man kann von keinem Ort der Erde nachweisen, daß seine geographische Breite mit der Zeit sich geändert hätte. Alles, was der Mensch auf Erden von einem Ort zum andern schafft, ist so geringfügig gegenüber der Gesammtmasse der Erde, daß eine durch unsere Instrumente beobachtbare Aenderung der Erdaxe bis jetzt nicht eingetreten ist; und die Rechnung hat gezeigt, daß das gesammte Himalayagebirge nach Nordamerika transportirt den Endpunkt der Erdaxe am Nordpol nur um 27 Meter verschieben und die Lage des Polarsterns nur um eine Secunde ändern würde. Wir dürfen also sagen: die Erdaxe hat in der Erde eine unveränderliche Lage.

Was auf die Lage der Erdaxe Einfluß hat, hat ihn auch im Allgemeinen auf die Umdrehungszeit, weil ein Körper, der seine Lage verändert, entweder der Erdaxe sich nähert oder von ihr sich entfernt, also im ersten Fall eine zu große, im zweiten eine zu kleine Geschwindigkeit in seine neue Umgebung mitbringt, folglich diese zu beschleunigen oder zu verzögern sucht. Doch werden die dadurch bedingten Aenderungen, besonders da die einen den andern entgegengesetzt sind, wohl auch unmerklich sein. Anders dagegen verhält es sich mit der Abkühlung der Erde durch Ausstrahlung: in Folge der Zusammenziehung

nähern sich alle Theile der Erdaxe, es muß also eine Beschleunigung der Umdrehung stattfinden oder der Tag muß abnehmen. Dagegen machte Laplace geltend, daß aus alten astronomischen Beobachtungen, insbesondere von Finsternissen, auf die Unmöglichkeit einer Aenderung des Tags auch nur um ein Hundertel einer Secunde in den vergangenen 2000 Jahren geschlossen werden könne. Man war daher geneigt, für die letztvergangenen Jahrhunderte ein Gleichgewicht zwischen der einstrahlenden Sonnenwärme und der ausstrahlenden Erdwärme anzunehmen, so daß eine Aenderung der Größe der Erde nicht eingetreten wäre.

Dr. Mayer hat jedoch darauf hingewiesen, daß diese Annahme nicht nothwendig sei, da es noch eine andere Ursache gebe, welche außer der Wärmestrahlung der Sonne unserer Erde Wärme zuführe. Der bewegliche Theil der Erdoberfläche, das Wasser, welches die Meere füllt, kann bei der Bewegung der Erde nicht das gleiche Niveau behalten, so wenig als die Oberfläche einer Flüssigkeit in einem Glase, das wir vom Tische nehmen, unverändert bleibt. Die der Sonne nächsten Theile der Erde werden von ihr am stärksten, die entferntesten am wenigsten angezogen: in Folge dessen würde die Erde, wenn ihre Form veränderlich wäre, in der Richtung zur Sonne auseinandergezogen; da aber die Oberfläche erstarrt ist, so kann sich diese Formänderung nur auf die flüssige Bedeckung erstrecken. Die der Sonne nächste Wassermasse wird am meisten, der starre Erdkörper weniger, und die von der Sonne abgewendete Wassermasse am schwächsten angezogen: das Wasser hebt sich über sein Niveau an den zwei

entgegengesetzten Seiten der Erde, an der einen, weil der starre Erdkörper zurückbleibt, an der andern, weil das Wasser gegen ihn zurückbleibt. So entsteht auf der der Sonne zugekehrten und auf der von ihr abgewendeten Seite ein Fluthberg, und da sich die Erde um ihre Axe dreht, so ist jeden Augenblick die der Sonne zugewendete Seite eine andere, also ändert der Fluthberg seine Lage beständig, indem er die Erde umkreist. Uebrigens ist die Einwirkung der Sonne nicht so beträchtlich, als die des Monds, da dieser aus nächster Nähe einwirkt, und so kommt es, daß die Fluth sich im Allgemeinen nach der scheinbaren Bewegung des Monds richtet: hat er seine größte Höhe für einen Ort am Meere erreicht, so ist seine Wirkung die stärkste, sie tritt aber erst etwa eine Stunde später ein, da das Wasser Zeit braucht, um sich aufzustauen, insbesondere wenn die Bewegung nicht ganz frei ist, in Folge der Küstenbildung Widerstand findet. Zur Zeit des Vollmonds und Neumonds wirken Sonne und Mond im gleichen Sinn, dann ist die Fluth am höchsten, zur Zeit der Viertel in entgegengesetztem Sinn, die Fluth ist am niedrigsten. Die Fluthwellen bewegen sich entgegengesetzt zur Umdrehung der Erde, da sie der Bewegung der Sonne und des Monds folgen, es muß also ein Druck der bewegten Wassermassen gegen die starren Theile der Erdoberfläche stattfinden, welcher die Erde in ihrer täglichen Bewegung aufhält, d. h. den Tag länger macht. Es wäre also möglich, daß die Erde durch Ausstrahlung mehr Wärme verliert, als sie durch Einstrahlung gewinnt, wenn ihre Umdrehungszeit in Wirklichkeit sich nicht ändert, denn die dabei stattfindende Verkürzung des Tags könnte wieder

durch die Ebbe und Fluth aufgehoben werden. Ganz nothwendig wird aber diese Erklärung Mayer's, wenn es sich bewahrheitet, was Untersuchungen von Adams und Delaunay über Mondsbewegungen wahrscheinlich gemacht haben, daß nämlich der Tag seit Hipparch (zweites Jahrhundert vor Chr.) um $^1/_{84}$ einer Secunde zugenommen hat. So klein und unmerklich diese Aenderung ist, sie verlangt eine Erklärung: ein Ueberwiegen der einstrahlenden Sonnenwärme stimmt nicht mit unserer Annahme der Entstehung des Sonnensystems, ein Ueberwiegen der Ausstrahlung würde den Tag verkürzen, also bleibt wohl nur die Einwirkung der Fluth als Ursache, welche die Verlängerung des Tags herbeiführen kann.

Wenn aber die bedeutenden Wassermassen, die durch die Fluth beständig in Bewegung erhalten werden, so geringen Einfluß auf die Erdumdrehung haben, so dürfen wir wohl unbedingt, wie oben gesagt, annehmen, daß alle Verschiebungen und Bewegungen auf der Erdoberfläche, die den Menschen zum Urheber haben, keinen merklichen Einfluß auf die Tageslänge haben können; ja wir dürfen überhaupt bei der Kleinheit der Aenderung, wenigstens so lange es sich um praktische Zeitmessung handelt, unbedingt sagen: die Umdrehungszeit der Erde ist unveränderlich. Doch wollen wir nicht vergessen, daß uns abermals ein Beweis vorliegt, wonach Ruhe oder gleichförmige Bewegung in der Natur nicht vorkommt, wonach es eine Unveränderlichkeit in Wirklichkeit nicht gibt.

In Folge der Drehung um ihre Axe hat sich die Erde abgeplattet, sie ist keine vollkommene Kugel, die Theile,

die am weitesten von der Axe ablagen, haben sich zu der Zeit, da die Oberfläche noch nicht erstarrt war, durch die Centrifugalkraft von der Axe entfernt, so daß in der Richtung der Axe die Dimension abnehmen mußte. Diese von der Kugelgestalt abweichende Form hat zur Folge, daß die Anziehung der Sonne oder des Monds oder der Planeten u. s. w. nur ausnahmsweise durch den Mittelpunkt der Erde geht, sie wird also die Erde um ihren Schwerpunkt — denn dieser fällt bei der Erde jedenfalls sehr nahe mit dem Mittelpunkt zusammen — zu drehen, also die Lage der Erdaxe zu ändern suchen. Man denke sich den abgeplatteten Erdkörper aus zwei Theilen zusammengesetzt, aus einer Kugel, deren Durchmesser die Erdaxe ist, und dem noch übrig bleibenden Wulste, dessen größte Dicke unter dem Aequator liegt.

Dann sieht man leicht, daß die Anziehung der Sonne auf die innere Kugel stets durch deren Schwerpunkt, also den Mittelpunkt der Erde gehen muß, weil die Kugel nach allen Seiten gleich ist. Anders dagegen steht es bei dem Wulste: er ist nicht nach allen Richtungen gleich und symmetrisch, sondern nur zur Ebene des Aequators, also wird die Anziehung auf ihn nur durch seinen Schwerpunkt oder den Erdmittelpunkt gehen, wenn der anziehende Körper im Aequator der Erde ist, in allen andern Fällen dagegen nicht. Im Anfang von Frühjahr und Herbst steht die Sonne im Aequator, sie übt also keinen Einfluß auf Aenderung der Erdaxe aus; im Anfang des Sommers ist der der Sonne zugekehrte Theil des Wulstes nördlich von der Erdbahn und da ihre Einwirkung auf das Nähere stärker ist, so wird sie das Bestreben haben, den Wulst

in die Erdbahn herabzuziehen, d. h. die Erdaxe aufzurichten; im Anfang des Winters ist der der Sonne zugekehrte Theil des Wulstes südlich von der Erdbahn, die Sonne sucht ihn wieder der Erdbahn zu nähern, d. h. abermals die Erdaxe aufzurichten. Die Einwirkung der Sonne auf die abgeplattete Erdkugel bleibt also der Art nach immer gleich, sie sucht die Erdaxe senkrecht zur Erdbahn zu stellen, aber die Größe der Wirkung wechselt von Vierteljahr zu Vierteljahr.

Erfolgt nun wirklich eine Hebung der Erdaxe? Eine Reihe leicht anzustellender Versuche gibt uns darüber Auskunft. Der sich drehende Kreisel bleibt, wie schon erwähnt, aufrecht stehen, wenn man seine Axe von Anfang an möglichst vertikal gestellt hat. Sowie man ihn aber schief stellt, beginnt eine Bewegung der Drehaxe. Soll die Erscheinung recht deutlich werden, so muß man eine große drehende Masse, eine dicke Metallscheibe, anwenden, die auf eine Axe senkrecht aufgesetzt ist: um diese Axe wird eine Schnur gewunden und durch rasches Abziehen eine möglichst schnelle Drehung hervorgebracht. Wird nun die Axe schief gestellt, so neigt sie sich nicht immer mehr gegen den Erdboden, gegen den sie die Schwerkraft zieht, sie behält vielmehr ihre schiefe Stellung bei, hebt sich nicht und senkt sich nicht, aber sie dreht sich rund um, d. h. sie beschreibt einen Kegel. Je größer die Masse ist und je rascher die Drehung erfolgt, desto langsamer und ruhiger erfolgt die Axenbewegung. Warum die Axe sich nicht senkt, obgleich die Schwerkraft den Kreisel niederzuziehen sucht, erklärt sich daraus, daß die Theile der Scheibe, die im jetzigen Moment abwärts gehen sollten, nach ganz kurzer Zeit in

Folge der Drehung in eine Lage gekommen sind, bei der sie, wenn das Fallen einträte, in die Höhe gehen müßten. Während die eine Seite der Scheibe fällt, hebt sich die andere, bis aber ein Theilchen der einen Seite seine Bewegung beginnt, ist es schon auf die andere gekommen und müßte, wenn wirklich Fallen eintreten soll, rasch die entgegengesetzte Bewegung annehmen. In diesem Widerstreit hebt sich die fallende Bewegung ganz auf, doch muß die Wirkung der Schwerkraft noch in irgend einer Weise sich zeigen, sie kann nicht verloren gehen, und das ist die Bewegung der Axe im Sinne der Drehung der Scheibe, ein seitliches Ausweichen, ohne die Neigung zu ändern, d. h. die oben beschriebene Drehung in einem Kegel.

Der Tübinger Astronom Bohnenberger hat im Anfang dieses Jahrhunderts einen Apparat construirt, welcher den Vorgang sehr deutlich vor Augen führt; eine abgeplattete Kugel (Fig. 37) wird so aufgehängt, daß sie sich in jeder beliebigen Richtung drehen kann, ähnlich wie der Compaß eines Schiffes: um eine vertikale Axe eines festen Rings dreht sich ein beweglicher und um eine horizontale Axe dieses beweglichen ein dritter beweglicher Ring, welcher eine zu seiner eigenen Drehaxe senkrechte Axe trägt, auf der der abgeplattete Körper aufsitzt und mit der er sich in dem dritten Ring drehen kann. Wird der Körper in beliebiger Lage durch Abziehen eines Fadens in rasche Drehung versetzt, so behält die Drehaxe ihre Lage, wie man auch das Ganze bewegen mag, bringt man aber ein kleines Uebergewicht an, so beginnt sich die Axe bei gleichbleibender Neigung zu drehen. In Folge des Uebergewichts geht die Anziehung der Erde nicht mehr durch den

Mittelpunkt des Körpers, und zugleich beginnt die seitliche Ausweichung der Axe.

Schon Hipparch bemerkte die Folgen einer solchen Bewegung der Erdaxe, er fand, daß die Fixsterne von der Ekliptik denselben Abstand behalten, dagegen in der Richtung der Ekliptik eine allmähliche Verschiebung erleiden, als ob sie vom Frühlingspunkt, dem Punkt, in welchem sich die Sonne bei Beginn des Frühjahrs befindet, in der Richtung von West nach Ost sich entfernen würden.



Fig. 37.

Man nannte diese Bewegung die Präcession der Fixsterne und bestimmte sie zu etwa 50 Secunden jährlich, den 40sten Theil der Sonnenbreite. In einer größern Reihe von Jahren mußte diese Aenderung sehr bemerklich werden, sie beträgt in hundert Jahren etwa 1½ Grad, in tausend Jahren 14 Grad und in 26,000 Jahren wäre der Fixstern um den ganzen Himmel gewandert und zur alten Lage zurückgekehrt.

In Wirklichkeit hat sich aber nicht der Stern vorwärts bewegt, sondern der Frühlingspunkt ist zurückgegangen, die Erdaxe hat ihre Lage geändert, also auch der Aequator und daher sein Kreuzungspunkt mit der fest stehenden Ekliptik. Denkt man sich bei der Drehung des Kreisels eine horizontale Ebene durch den Mittelpunkt der Scheibe, so erkennt man leicht bei genauer Beobachtung der Bewegung, daß der Umfang der Scheibe diese Ebene in einer Stelle trifft, welche langsam im Sinne der Bewegung vorwärts schreitet. Bei der Erde geht dagegen der Frühlingspunkt rückwärts von Ost nach West, während die Erde sich von West nach Ost dreht: der Grund der Verschiedenheit liegt darin, daß bei der Kreiselbewegung die Schwerkraft die Axe zu senken sucht, bei der Erdbewegung dagegen, wie oben gezeigt wurde, eine Hebung der Axe durch die Sonnenanziehung angestrebt wird.

Am besten läßt sich Alles, was mit der Präcession zusammenhängt, an einem Himmelsglobus veranschaulichen. Auf einem solchen ist die Ekliptik bezeichnet und ihr Pol kann leicht eingezeichnet werden: man stelle die Ekliptik horizontal, so daß ihr Pol der höchste Punkt des Globus ist. Die Richtung der Erdaxe ist bestimmt durch die Linie vom Mittelpunkt des Globus zum Nordpol, also nahe zum Polarstern: diese Axe ändert sich allmählich, behält aber gleiche Neigung gegen die Ekliptik, trifft also die Himmelskugel immer in gleicher Entfernung vom Pol der Ekliptik; beschreibt man also von diesem als Mittelpunkt aus einen Kreis, der durch den jetzigen Nordpol geht, so erhält man alle die Punkte, nach welchen im Laufe der Zeit die Erdaxe hinweisen wird. Dieser Kreis geht nahe durch zwei hellere

Sterne in Cepheus, durch den hellsten Stern des Schwans, Deneb, durch die glänzende Wega in der Leyer und durch den hellsten Stern des Drachen. Alle diese Sterne werden mit der Zeit Polarsterne werden, wie es jetzt der hellste Stern im kleinen Bären ist, d. h. da die Erdaxe gegen sie hin gerichtet ist, so scheinen sie am Himmel fest zu stehen und alle andern Sterne beschreiben ihre scheinbaren Bahnen um sie. Da aber der Aequator überall neunzig Grad vom Nordpol absteht, so muß er die Bewegung des letztern theilen und man sieht leicht, daß dieß in der Art vor sich geht, daß sein Schnittpunkt mit der Ekliptik in das Sternbild des Wassermanns, dann des Steinbocks u. s. w. zurückgeht.

Da die Richtung der Erdaxe in der Erde unverändert bleibt, so ändert sich an jedem Erdort die Höhe des Nordpols oder die geographische Breite nicht, da sie sich aber im Raum dreht, so tritt an den Nordpol von Jahr zu Jahr ein anderer Punkt des Sternenhimmels, so daß der Anblick des gestirnten Himmels mit der Zeit sich ändert: man sieht Sterne, die früher nicht sichtbar waren, andere verschwinden, Zeit des Auf- und Untergangs der Sterne ändert sich u. s. w. Allerdings ist diese Aenderung so klein, daß sie im Laufe eines Menschenlebens ohne genaue Beobachtung nicht erkannt wird, anders dagegen verhält es sich mit längern Zeiträumen. Homer spricht von dem Siebengestirn, „das nie im Ocean sich bade". Von den sieben ausgezeichneten Sternen des großen Bären ist der äußerste Schwanzstern etwa 40 Grad vom jetzigen Nordpol entfernt, und geht deswegen im südlichen Kleinasien unter einer Breite von 36 bis 38 Graden auf kurze Zeit

unter, man wäre also versucht, zu glauben, Homer habe diesen Ausspruch im südlichen Kleinasien nicht thun können. Nimmt man aber Rücksicht auf die Präcession, und nimmt an, Homer habe etwa 900 Jahre vor Christus gelebt, so findet man, daß jener Schwanzstern vom damaligen Nordpol nur 26 Grade entfernt war, daß seine kleinste Höhe über dem Horizont sonach mehr als 10 Grade betrug und nun ist Homer's Ausspruch vollkommen klar. Auch in unsern Breiten wird nach beiläufig 2000 Jahren nicht blos jener äußerste Stern, sondern das ganze Siebengestirn untergehen, während es gegenwärtig in jeder heitern Nacht zu jeder Zeit ein so bequemes Mittel zur Orientirung am Sternenhimmel ist.

In Folge der Präcession passen die Sternbilder des Thierkreises nicht mehr zusammen mit den Zeichen, die vom Frühlingspunkt aus auf der Ekliptik seit alten Zeiten aufgetragen werden. Man sagt, mit Beginn des Frühjahrs rücke die Sonne in das Zeichen des Widders, da man das Zeichen des Widders vom Frühlingspunkt an rechnet, in Wirklichkeit tritt aber die Sonne in das Sternbild der Fische. Wenn die Sonne in das Zeichen des Krebses eintritt, befindet sie sich im Sternbild der Zwillinge und erst nach einem Monat erreicht sie das Sternbild des Krebses. Um diesen Widerspruch zu erklären, dürfen wir nur annehmen, daß die Zeichen der Ekliptik vor etwa 2000 Jahren bestimmt wurden nach den entsprechenden Sternbildern; jetzt aber ist der Anfangspunkt der Eintheilung der Ekliptik, der Frühlingspunkt, um etwa 30 Grad zurückgegangen, also passen die Zeichen nicht mehr zu den Sternbildern. Da diese Abweichung

mit der Zeit immer größer wird, ist es passend von der alten Bestimmung der Lage in einem Zeichen abzusehen und auf der Ekliptik vom Frühlingspunkt aus, wie bei allen andern Kreisen, nach Graden zu zählen. Man nennt dann den Abstand vom Frühlingspunkt auf der Ekliptik gemessen die Länge, sagt also im Frühjahrsanfang sei die Länge der Sonne Null, im Anfang des Sommers 90 Grad, des Herbstes 180, des Winters 270. Damit fällt alle Zweideutigkeit.

In ähnlicher Weise, wie die Sonne, wirkt auch der Mond auf die Bewegung der Erdaxe und in bedeutend schwächerer Weise die Planeten: es wird darum die Präcession keine gleichförmige Bewegung sein, sondern vielfachen kleinen Schwankungen unterliegen, denen man den gemeinschaftlichen Namen der Nutation gegeben hat: der Nordpol wird nicht einen Kreis am Himmel beschreiben, sondern eine complicirte Bahn, die bald nach außen, bald nach innen, aber nie sehr viel von einem Kreise abweicht.

Eine weitere Folge der Präcession ist, daß ein Planet bei seinem Umlauf um die Sonne zum Frühlingspunkt früher zurückkehrt, als zu einem und demselben Fixstern, und man hat darnach den sogenannten tropischen Umlauf vom siderischen unterschieden. Die tropische Umlaufszeit ist die Zeit, die der Planet braucht, um zum Frühlingspunkt zurückzukehren; bedenkt man nun, daß dieser in einem Jahr um 50 Secunden zurückweicht, so kann man leicht bestimmen, um wie viel er dem Planeten während eines Umlaufs entgegengekommen ist, und rechnet man dann noch die nöthige Zeit, um diesen Theil der

Bahn zu beschreiben, zu der tropischen Umlaufszeit, so hat man die siderische. Die Erde z. B. legt jeden Tag etwa einen Grad in ihrer Bahn zurück; bis sie ihren Umlauf vollendet, ist ihr der Frühlingspunkt um 50 Secunden entgegengekommen, soll sie auch diese noch zurücklegen, so braucht sie noch etwa 20 Minuten: um so viel ist also das siderische Erdenjahr größer als das tropische. Bewegt sich ein Planet sehr langsam, so ist der Unterschied natürlich beträchtlicher; Neptun z. B. hat eine Umlaufszeit von beiläufig 60000 Tagen, legt also einen Grad seiner Bahn in 166 Tagen zurück; in 60000 Tagen beträgt aber die Präcession mehr als 2¼ Grad, wozu Neptun etwa 380 Tage braucht: dies ist also der Unterschied der zwei Umlaufszeiten für Neptun, mehr als ein Erdenjahr.

Die tropische Umlaufszeit hat ihre Bedeutung hauptsächlich für die Jahreszeiten der Erde: so oft sie vollendet ist, hat die Sonne wieder denselben Stand zur Ekliptik, sie ist also die Zeit, welche unserm bürgerlichen Jahr zu Grunde liegt.

Es bleibt uns noch übrig, die Erde in Beziehung auf ihre Größe und Dichte näher kennen zu lernen, um schließlich die bisher gebrauchten Maße auf die irdischen zurückführen zu können. Wenn wir die Entfernungen im Sonnensystem durch Sonnenweiten ausdrücken, und die Sonnenweite aus dem Venusdurchgang bestimmen, so müssen wir die Abstände der Beobachtungspunkte kennen, also die Dimensionen der Erde, und wenn wir die Dichten der Planeten und der Sonne mit der der Erde vergleichen, so müssen wir noch bestimmen, wie sich die Dichte

der Erde zu der des Wassers, als unserm gewöhnlichen Dichtigkeitsmaß, verhält.

Die richtige Deutung des Auf- und Untergangs der Sterne, der Sonne und des Monds und der Planeten führte schon mehrere hundert Jahre vor Christi Geburt auf die Ansicht, daß die Erde eine Kugel sei. Eratosthenes war es, der 200 Jahre vor Chr. den ersten Versuch wagte, die Dimensionen dieser Kugel zu bestimmen, nach einer Methode, die dem Wesen nach noch heute die zu diesem Zweck benützte ist. Während nach seiner Beobachtung in Syene in Ober-Aegypten die Sonne am Tage des Sommersonnenstillstands (21. Juni) gerade im Zenith stand, blieb sie in Alexandrien am gleichen Tag noch 7½ Grad vom Scheitelpunkt entfernt. Da Syene und Alexandrien nahe auf demselben Meridian lagen, so schloß er, daß der Umfang der Erde sovielmal die Entfernung beider Städte in sich begreife, als 7½ Grad in 360 Grad enthalten seien, also 50mal so groß als jene Entfernung sei. Indem er aus der Zeit, die eine Reise von Alexandrien nach Syene erforderte, auf eine Entfernung beider Städte von 5000 Stadien schloß, bestimmte er demnach den Erdumfang zu 250000 Stadien. Die Genauigkeit dieser Bestimmung läßt sich heutzutage nicht angeben, da wir die Größe des von Eratosthenes angenommenen Stadiums nicht einmal annähernd kennen. Eine zweite Bestimmung dieser Art durch Posidonius aus der Lage von Rhodus und Alexandrien gab 182000 Stadien. Diese ersten Versuche, den Erdumfang zu bestimmen, sind nicht durch das erreichte Resultat, sondern nur wegen des richtigen Einblicks in die Methode bemerkenswerth.

Die folgenden drei Versuche, durch die Araber im 9ten Jahrhundert, durch den Franzosen Fernel 1525 zwischen Paris und Amiens, und durch den Engländer Norwood zwischen York und London, suchten die Ausführung der Messung dadurch zu verbessern, daß sie die Entfernung der Endpunkte des Bogens, den sie maßen, nicht blos schätzten, sondern mit Maßstäben oder Meßketten direct bestimmten. Schon jetzt erhielt man eine sehr genäherte Bestimmung der Länge eines Grads zu beiläufig 57000 Toisen, d. h. wenn man von Süden nach Norden um diese Länge vorwärts geht, so nimmt die Höhe des Nordpols um einen Grad zu.

Da aber bei dem Messen einer Länge mit einem Maßstab jedes neue Anlegen mit einem Fehler verbunden sein kann und dieses Anlegen sehr häufig vorkommt, also die Zahl der zu befürchtenden Fehler eine sehr große war, so wurde ein bedeutender Fortschritt gemacht, als Snellius eine Methode angab, größere Längen nicht direct, sondern durch Winkelmessungen zu bestimmen. Diese heutzutage allein benützte Methode ist im Wesentlichen folgende: man mißt mit äußerster Sorgfalt eine verhältnißmäßig kurze Strecke von 1 bis 2 Meilen, die sogenannte Basis; dann bestimmt man die Winkel, welche diese mit den Gesichtslinien von ihren Endpunkten zu einem dritten Punkt bildet. Dadurch ist das Dreieck vollkommen bestimmt, man kann die Lage des dritten Punkts und die Größe der zwei andern Seiten aufs Genaueste berechnen und hat somit zwei weitere Gerade, die man als Basis für einen vierten, fünften Punkt u. s. w. benützen kann. Man sieht, daß auf diese Weise eine ganze Reihe von Dreiecken anein-

ander gereiht und alle Seiten ohne directe Messung berechnet werden können, daß also die Zahl der Einzeloperationen beträchtlich kleiner, das Resultat also fehlerfreier sein wird. Die ganze Operation hat den Namen „Triangulation" erhalten.

Picard wandte zuerst diese Methode zwischen Malvoisine und Amiens an (1669), und sein Resultat ist für die Astronomie von großer Bedeutung geworden, da es Newton möglich machte, seine Ueberzeugung, daß der Mond durch dieselbe Kraft der Erde in seiner Bahn erhalten werde, welche die Körper auf der Erdoberfläche fallen macht, in Zahlen nachzuweisen. Seine erste Rechnung stimmte nicht, weil er die Dimensionen der Erde nach der damaligen Kenntniß zu klein genommen hatte und erst nach einer Reihe von Jahren machte ihm jene Gradmessung den Beweis des Satzes von der allgemeinen Anziehung möglich.

Durch Newton's Behauptung, die Erde müsse abgeplattet sein, weil sie sich um ihre Axe drehe, wurde nun aber das Bewußtsein geweckt, daß die Erde nicht eine Kugel im vollen Sinn des Worts, sondern nur angenähert sei, daß also eine einzige Messung zur Bestimmung ihrer Dimensionen nicht genüge. Man betrachtete sie jetzt als abgeplattete Kugel, d. h. man dachte sich den Aequator und die Parallelkreise als Kreise, die Meridiane dagegen als Ellipsen, deren große Axen im Aequator liegen. Denkt man sich eine solche Ellipse um ihre kleine Axe gedreht, so beschreibt jeder Endpunkt der großen Axe den Aequator, irgend ein anderer Punkt des Umfangs der Ellipse einen Parallelkreis und der ganze Umfang erzeugt

eine Fläche, welche eben die Erdoberfläche vorstellen sollte. War dies wirklich der Fall, so mußte die Krümmung der Erdoberfläche am Pol kleiner sein als am Aequator, d. h. man mußte in der Nähe des Pols weiter gehen, als am Aequator, bis der Nordpol sich um einen Grad hob, oder die nördlichen Grade mußten größer sein, als die in der Nähe des Aequators. Zur Prüfung dieser Consequenz wurde um 1700 durch Cassini und de la Hire eine Gradmessung durch ganz Frankreich ausgeführt, ihr Resultat stand aber im Widerspruch mit Newton's Ansicht: sie gab den nördlichen Grad kleiner, und führte also dazu, daß die Erde nicht als abgeplattete Kugel, sondern als eiförmiger Körper zu betrachten sei. Ein langer Kampf zwischen Frankreich und England über die Möglichkeit und Erklärbarkeit dieses Resultates führte schließlich, doch erst nach Newton's Tod, zur Ausführung des großartigen Plans, in Lappland und in Peru Messungen anstellen zu lassen, eines Plans, bei welchem Bouguer, Condamine, Ulloa, Clairaut, Maupertuis und andere mitwirkten. Das Resultat war 56753 Toisen unter dem Aequator und 57437 in Lappland, so daß die Abplattung außer Zweifel gesetzt war. Es folgten nun bis in den Anfang unsers Jahrhunderts herein eine Reihe weiterer Gradmessungen (in Ostindien, am Cap der guten Hoffnung und in den verschiedensten Ländern Europa's) die alle unter sich vergleichbar sind, da man die Normalmaßstäbe immer auf's Sorgfältigste mit der Normaltoise verglich, welche in Peru benutzt worden war (toise de Pérou). Bessel hat die Resultate zusammengestellt und daraus die wahrschein=

lichsten Werthe des Aequatorhalbmessers und der halben Erdaxe abgeleitet. Die letztere ist darnach nahe um $1/300$ kleiner als der erstere.*)

Es zeigte sich aber bei der Vergleichung der einzelnen Gradmessungen, daß dieselben unter sich viel weniger stimmten, als die Güte der Instrumente und die Sorgfalt der Beobachter namentlich in der neuesten Zeit erwarten ließ, so daß der Schluß natürlich war, man müsse überhaupt davon absehen, der Erde eine so regelmäßige Gestalt zuzuschreiben, als man bisher angenommen hatte. Auch Längengrade zeigten Unterschiede, welche unmöglich wären, wenn die Parallelkreise genaue Kreise sind. Es hat darum, angeregt durch General Baeyer, eine Vereinigung aller civilisirter Länder Europa's zu dem Zwecke begonnen, zum Theil durch Vergleichung früherer Messungen, zum Theil durch Anstellung neuerer immer mehr Resultate zu sammeln, welche einer definitiven Bestimmung der Form der Erde zu Grunde gelegt werden sollen. Die europäische Gradmessung im großartigsten Maßstabe ist gegenwärtig im Gange und künftige Jahre werden uns neuen Aufschluß geben, wie weit es überhaupt gestattet ist, der Erde, d. h. besser gesagt, der Meeres-

*) Ferner ergab sich, daß die französische Gradmessung, welche der Ermittlung des Meters als dem Zehnmillionstel Theil der Entfernung des Aequators vom Pol zu Grunde gelegt wurde, diese Entfernung um etwa 850 Meter zu klein bestimmt hatte. Trotzdem wird das damals bestimmte Meter als Normalmaß beibehalten, da man von der Annahme eines Naturmaßes, einer in der Natur unveränderlichen Länge, ganz abgekommen ist.

oberfläche, wie sie sich ausbreiten würde, wenn Alles mit Wasser bedeckt wäre, eine regelmäßige geometrische Gestalt zuzuschreiben.

Man darf wohl daran zweifeln, da die genauesten Beobachtungen zeigen, daß die Schwerkraft nicht nach regelmäßigem Gesetz vom Aequator zum Pol zunimmt und daß das Pendel an vielen Orten entschiedene Abweichungen von den Vertikalen zeigt. Beides ist sicher dadurch hervorgerufen, daß die Vertheilung der Massen in der erstarrten Kruste der Erde eine sehr wechselnde ist, so daß überall, wo in ihrer Dichtigkeit sehr verschiedene Schichten an einander grenzen, etwa Kalkschichten und sehr erzreiche Gesteine, die Verschiedenheit der beiderseitigen Anziehung groß genug ist, um mit unsern heutigen Instrumenten beobachtet werden zu können. Man hat ja eben auf diese Weise ein Maß für die Dichte der Erde gewonnen, sei es, indem man die verschiedene Schwingungszeit eines Pendels an der Erdoberfläche und in der Tiefe eines Schachts bestimmte, sei es, daß man die Ablenkung eines sehr beweglichen Pendels durch eine rasch genäherte Bleimasse beobachtete. Man hat so die Dichte der Erde zu $5^1/_2$ bestimmt, d. h. das Gewicht der gesammten Erde ist $5^1/_2$ mal so groß als das einer Wasserkugel von gleicher Größe, und man hat darnach, da die Größe der Kugel wenigstens sehr genähert bekannt ist, das Gewicht der Erde zu 6 Quadrillionen Kilogramm berechnet, eine Zahl freilich, für die uns jegliches Verständniß abgeht.

Vorerst also können wir genähert die Dimensionen und Massen unseres Sonnensystems in Metern und Kilogrammen bestimmen, aber die Arbeit ist noch nicht ganz

vollbracht. Wenn man auch davon abgekommen ist, die Erddimensionen zum Zweck der Feststellung eines Naturmaßes, wie es der Meter als zehnmillionster Theil der Entfernung des Pols vom Aequator sein sollte, auf's Genaueste zu untersuchen, wenn man auch jedes Maß als etwas willkührliches zu betrachten gelernt hat: das Bestreben, die Erde nach Form und Größe kennen zu lernen, wird immer bestehen bleiben. Und wenn die europäische Gradmessung ihre Arbeit vollendet hat, so wird sogleich eine neue Arbeit beginnen: denn wir wissen, daß sich die Erdoberfläche beständig ändert, daß das Niveau des Meeres an den Ufern der Continente steigt oder fällt, daß die einen Continente sich heben, die andern sinken, daß also die Form der Erdoberfläche eine wechselnde sein muß. Wenn sie sich aber im Lauf der Jahrhunderte ändert, so ist es Aufgabe der künftigen Astronomen, auch diese Aenderung noch zu bestimmen.

V.

Orientirung auf der Erde nach Raum und Zeit.

1. Zeitbestimmung.

Nachdem wir die verschiedenen Himmelskörper nach Bewegung und Beschaffenheit näher kennen gelernt haben, versuchen wir die erworbenen Kenntnisse zu verwerthen, um uns irgendwo auf der Erde zu orientiren, um drei Dinge zu bestimmen, welche an jedem Ort der Erde zu wissen nöthig sind, wenn man sagen will, man kenne seinen Standort. Das ist die Uhrzeit, die geographische Breite und die geographische Länge.

Die Zeit zu bestimmen, war ursprünglicher Zweck der Beobachtung der Gestirne, aus der Höhe eines Sterns konnte man auf die Stunde der Nacht schließen und die Jahreszeit ergab sich aus dem ganzen Anblick des Himmels, aus der Anwesenheit oder Abwesenheit bestimmter Sterne. Auf- und Untergang der Sonne mit der gleichförmig ablaufenden Sanduhr oder Wasseruhr beobachtet gab die Eintheilung des Tags oder der Nacht. Maß man die Menge des in der Nacht ausgeflossenen Wassers und die von Sonnenuntergang bis zu einer bestimmten Beobachtung

ausgeflossene Menge, so konnte man die Zeit der Beobachtung nach Sonnenuntergang angeben. Die Sonnenuhren gaben unmittelbar die Zeit an, freilich nur bei heiterem Himmel. Eine genauere Bestimmung der Zeit wurde erst möglich, als unsere heutigen Uhren aufkamen und heutzutage, wo die Eisenbahnen ihr Netz immer weiter ausdehnen, wo die Elektricität vollkommen gleichgehende Uhren möglich gemacht hat, ein Ideal, nach welchem Kaiser Karl V. vergeblich gestrebt hatte, ist es für jeden Gebildeten wünschenswerth, die Zeit wenigstens bis auf die Minute genau zu kennen.

Die geographische Breite und Länge sind wir gewohnt aus unsern Landkarten zu entnehmen, sie bleiben unverändert und darum genügt eine einmal gemachte Bestimmung. Anders dagegen verhält es sich in fremden unbekannten Ländern und auf dem Meere. Bestimmung der geographischen Lage ist nothwendiges Erforderniß für jede Entdeckungsreise, und wie fördernd sie für die Kenntniß der Länder ist, wie viel ein Einzelner in dieser Beziehung leisten kann, das hat Alexander v. Humboldt am deutlichsten auf seiner amerikanischen Reise gezeigt; sie ist Haupterforderniß auf dem Schiffe, denn nur dadurch erfährt der Schiffer, an welcher Stelle des weiten Oceans er sich befindet, ob seinem Schiffe Gefahr droht oder ob er ruhig seinen Lauf fortsetzen kann. Die meisten Methoden, Breite und Länge zu bestimmen, beruhen auf der vorher gemachten Zeitbestimmung, darum beginnen wir mit der letzten.

Alle Zeitmessung beruht auf dem Satz, daß bei gleichförmiger Bewegung in gleichen Zeiten gleiche Räume zurückgelegt werden. Wir müssen also zuerst eine gleich-

förmige Bewegung in der Natur aufsuchen oder durch Kunst uns verschaffen: daß es in der Natur keine im vollsten Sinn des Worts gleichförmige Bewegung gibt, haben wir bei verschiedenen Gelegenheiten erfahren; aber auch, daß es wenigstens eine gibt, die Umdrehung der Erde um ihre Axe, die sich so wenig ändert, daß sie im Lauf vieler Jahre als vollkommen unveränderlich betrachtet werden kann. Freilich ist es nicht möglich, immer auf sie zurückzugehen, der Himmel ist nicht immer heiter genug, um den Lauf der Fixsterne zu beobachten und daraus auf die Zeit des Tages zu schließen, und bei Tage ist die Beobachtung der Fixsterne ohnehin nur lichtstarken Fernröhren möglich. Unter allen Umständen wird neben der natürlichen gleichförmigen Bewegung noch für eine künstliche sie nachahmende zu sorgen sein, wenn man beständig ein Maß für die Zeit haben will; sie wird wie jedes menschliche Werk ihre Unvollkommenheiten haben, läßt sich aber von Zeit zu Zeit durch die natürliche controliren.

Eine Zeitlang hat man sich abgemüht, Uhrwerke zu schaffen, welche ein Abbild des ganzen Himmels sind, welche den Lauf des Sternenhimmels, der Sonne, des Monds und der Planeten darstellen: das größte und gelungenste Werk dieser Art ist noch jetzt im Gang befindlich und im Straßburger Münster aufgestellt. Es ist klar, daß solche Werke nur ungefähr die Bewegungen der Himmelskörper wiedergeben können, weil alle Bewegungen am Himmel mehr oder weniger veränderlich, also durch ein in seiner Einrichtung unveränderliches Uhrwerk nicht nachzumachen sind, auch unterliegen sie schon ihrer Complicirtheit wegen vielfachen Störungen. Handelt es sich nicht um bloße

Veranschaulichung dessen, was am Himmel vorgeht, sondern um genaue Messung, so ist Einfachheit die beste Garantie für die Güte eines Uhrwerks.

Es sind jetzt etwas mehr als 200 Jahre, daß Huygens das Pendel als Zeitmesser einführte: so lange es gleichweite Schwingungen ausführt, ist die Zeit, die es zu einer Schwingung nöthig hat, immer dieselbe, und verbindet man mit dem Pendel ein Zählwerk, welches die Anzahl der Schwingungen notirt, so hat man eine Uhr. Bei den genaueren Uhren verwendet man das Secundenpendel, d. h. ein Pendel, welches den Weg von links nach rechts und umgekehrt je in einer Secunde zurücklegt, und das Zählwerk ist so eingerichtet, daß ein Zeiger die Anzahl der Secunden, d. h. die Zahl der Schwingungen, ein zweiter die Minuten, ein dritter die Stunden angibt. Die Schwierigkeit, eine gute Uhr dieser Art zu construiren, besteht darin, daß die Stöße, welche das Pendel von Zeit zu Zeit erhalten muß, damit seine Bewegung nicht aufhört, so gleichmäßig sein müssen, daß die Schwingungsweite sich nicht ändert.

Erhält das Pendel keinen Antrieb, so wird es, da es Arbeit zu leisten, einen Zeiger zu drehen hat und da ihm Reibung und Luftwiderstand entgegenwirken, schließlich ganz stehen bleiben. Soll das nicht stattfinden, so muß durch kleine Stöße wieder ersetzt werden, was durch jene Widerstände an Bewegung verloren geht, am besten von Secunde zu Secunde, damit nicht eine Schwingungsweite des Pendels kleiner ist als die andere. Dazu dient das Zählwerk, indem es durch ein Gewicht oder eine Feder getrieben wird und durch Vermittlung des Echappement

jede Secunde dem Pendel einen schwachen Antrieb gibt. Die Gleichmäßigkeit dieses Stoßes, von der die Güte der Uhr abhängt, leidet bei einer Federuhr (ohne Schnecke) darunter, daß in dem Maße, in dem sich die Feder abspannt, auch die stoßende Kraft abnimmt, bei einer Gewichtsuhr (oder Federuhr mit Schnecke) darunter, daß das Räderwerk sich mit Reibung bewegt, daß diese Reibung von der Glätte der reibenden Flächen, von der kleinern oder größern Zähigkeit des zum Schmieren dienenden Oels abhängt, Dinge, die sich mit der Zeit und mit der Temperatur jedenfalls, wenn auch nicht viel, ändern. Den Einfluß der Temperatur auf die Länge des Pendels hat man zu beseitigen gewußt, aber die Einwirkung auf das Schmiermittel läßt sich nicht aufheben.

Führen wir endlich noch an, daß auch der Barometerstand von Bedeutung ist, weil mit der Aenderung des Luftdrucks bei gleich bleibender Temperatur eine Aenderung der Dichte und daher des Widerstands der Luft verbunden ist, so sieht man, welche Zahl von Schwierigkeiten aller Art sich dem Verfertiger der Uhren entgegen stellt und daß selbst die besten nur ein schwaches Bild einer gleichförmigen Bewegung geben werden. In der neuesten Zeit erreicht man den besten Gang, indem man die Uhr allen schädlichen Einflüssen möglichst entzieht; man bringt sie in unterirdischen Räumen unter, wo die Lufttemperatur möglichst wenig sich ändert, und man schließt sie in einen luftdicht schließenden Kasten ein, der vermittelst einer kleinen Pumpe theilweise luftleer gemacht und mit einer gleich dichten Luft gefüllt erhalten wird. Um an jedem andern Orte, wo es gewünscht wird, insbesondere da, wo eben beobachtet wird,

die Zeit der Uhr zu haben, bedient man sich einer Hilfsuhr, welche vermittelst des galvanischen Stroms durch die Normaluhr in gleichem Gang erhalten wird.

Diese Pendeluhren geben jedoch im vollen Sinn des Worts, auch wenn sie vollkommen wären, keine gleichförmige Bewegung, der Secundenzeiger legt wohl alle Secunden, alle Minuten und alle Stunden den gleichen Weg zurück, aber für kleinere Zeittheile als Secunden gilt das nicht mehr; er macht Sprünge, er bleibt während eines Theils der Secunde stehen, während des andern geht er um den 60sten Theil des Zifferblatts rasch vorwärts. Zur Bestimmung von Bruchtheilen einer Secunde ist also die Uhr nicht brauchbar, solche müssen entweder von dem Beobachter geschätzt oder vermittelst eines besondern Apparats, des Registrirapparats, bestimmt werden. Das Letztere geschieht, wenn man der Secundenuhr eine Einrichtung gibt, vermöge der sie auf einem gleichförmig ablaufenden Papierstreifen mit Hilfe eines galvanischen Stroms jede Secunde eine Marke macht: wird der Moment einer Beobachtung in ähnlicher Weise auf demselben Streifen notirt, so kann man aus der Lage der Marken die Beobachtungszeit noch leicht auf hundertel Secunden bestimmen — vorausgesetzt, daß der Papierstreifen gleichförmig sich bewegt. Ferner kann man das Pendel nicht bei einem Uhrwerk benützen, welches ein Fernrohr in der Art bewegen soll, daß es den Gestirnen bei ihrer Bewegung nachfolgt, sei es um irgend einen Himmelskörper mit Ruhe betrachten zu können, was bei einer Fortbewegung im Gesichtsfeld und bei fortwährendem neuen Einstellen nicht möglich ist, sei es, daß man eine Photographie eines Him-

melskörpers zu erhalten sucht. Würde das Fernrohr in jeder Secunde eine Zeitlang stille stehen und dann einen Sprung machen, so wäre die Beobachtung viel mehr erschwert, als bei gleichförmiger Bewegung durch das Gesichtsfeld, und eine scharfe Photographie wäre ganz unmöglich; also auch hier ist eine gleichförmige Bewegung, die das Fernrohr so führt, daß es dem Himmelskörper gerade nachfolgt, unbedingt, wenigstens für kürzere Zeit nothwendig.

Der Astronom braucht somit außer der gewöhnlichen Pendeluhr noch eine, welche eine im mechanischen Sinne des Worts gleichförmige Bewegung gibt, d. h. in den kleinsten Zeittheilen immer denselben Weg zurücklegt. Es ist nicht nöthig, daß diese Uhr tage- oder jahrelang gleich gehe, sie braucht nicht Normaluhr zu sein, es genügt, wenn sie nur auf kürzere Zeit nicht zu große Abweichungen zeigt, da sie jederzeit durch die Normaluhr controlirt werden kann. Man hat als einfachstes Mittel zu diesem Zweck ein Windflügelrad, als besseres das Centrifugalpendel oder konische Pendel benützt. Das letztere geht nicht in einer Ebene, der Schwingungsebene, hin und her, sondern beschreibt einen Kegel mit vertikaler Axe, oder irgend ein Punkt desselben einen horizontalen Kreis mit immer gleicher Richtung: es nimmt das erste Rad des Uhrwerks mit und ertheilt so allen folgenden ebenfalls eine gleichförmige Bewegung, windet einen Papierstreifen gleichmäßig ab oder bewegt ein Fernrohr in gewünschter Weise.

Unbrauchbar sind endlich die Pendel, sobald es sich um eine zu transportirende Uhr handelt, also bei Schiffsuhren und Taschenuhren: sie müssen einen andern Regu-

lator haben und können nur durch Federn, nicht durch Gewichte im Gang erhalten werden. In diesem Fall verwendet man einen Balancier, ein kleines Schwungrad, welches durch eine dünne Stahlfeder, die meist in Form einer Spirale gewunden ist, zu Schwingungen um die Ruhelage genöthigt wird. Sobald nämlich das Schwungrädchen aus der Ruhe gebracht wird, windet sich die Spiralfeder auf oder rollt sich zusammen, leistet der Bewegung Widerstand und bringt den Balancier zur Ruhe; dann führt sie ihn wieder zurück zur ursprünglichen Ruhelage und nun beginnt das gleiche Spiel auf der andern Seite u. s. w. Was beim Pendel die Schwerkraft leistet, wird beim Balancier durch die Elasticität der Feder ausgeführt. Man erhält eine Reihe Schwingungen gleicher Dauer, wenn dafür gesorgt wird, daß wie beim Pendel immer wieder durch kleine Anstöße die verlorene Bewegung ersetzt wird. Die beständige Bewegung beim Transport kommt hier als weiterer Nachtheil zu den sonstigen Schwierigkeiten der Construction hinzu; der Werth eines solchen Chronometers, wenn er gut geht, ist aber für Schiffe zur Bestimmung des Orts, wo sie sich befinden, wie wir später sehen werden, so groß, daß — insbesondere in England — alles aufgewendet wurde, um die Fabrikation auf eine möglichst hohe Stufe der Vollendung zu bringen. Das erste ausgezeichnete Instrument dieser Art von Harrison soll vor 100 Jahren mit 20000 Pfund Sterling bezahlt worden sein und noch heute werden für die besten Chronometer Hunderte von Pfunden gegeben.

Was für eine gleichförmige Bewegung sollen nun diese Uhren haben, oder wie müssen sie gehen, um die richtige

Zeit zu zeigen? Die Uhren, welche Fernröhren in Bewegung setzen, müssen genau der Bewegung der Sterne, der Sonne, der Planeten u. s. w., also im Allgemeinen sehr verschiedenen Bewegungen folgen können, sie sind deswegen so eingerichtet, daß man ihren Gang innerhalb bestimmter Grenzen sehr leicht ändern kann. Die andern könnten eine beliebige gleichförmige Bewegung haben, für das passendste wird wohl zunächst ein Anschließen an die gleichförmige Axendrehung der Erde zu erachten sein. Wir sagen darnach, die Erde brauche 24 Stunden zu einer Drehung um ihre Axe, oder was dasselbe ist, ein Stern komme nach 24 Stunden wieder an denselben Ort; und somit soll auch die Uhr in derselben Zeit 24 abgelaufene Stunden notiren: sie läßt sich dann äußerst einfach controliren, man darf nur ein Fernrohr möglichst solid aufstellen in der Art, daß irgend ein bekannter Fixstern irgend einmal im Kreuzungspunkt der Fäden erscheint. So oft der Stern wieder erscheint, muß die Uhr gleiche Zeit zeigen: man nennt daher eine solche Uhr eine Sternuhr, weil sie dem Lauf der Sterne folgt. Alle Sterne, welche im gleichen Parallelkreise mit jenem ersten liegen, werden ebenfalls im Laufe der Zeit im Fernrohr erscheinen und durch den Kreuzungspunkt der Fäden gehen, aber der eine später als der andere: beobachtet man mit Hilfe der Uhr die Zeit, die vom Durchgang des ersten bis zu dem eines zweiten vergeht, so kann man daraus auf den Abstand beider Sterne auf ihrem Parallelkreis schließen; denn da der ganze Parallelkreis 24 Stunden braucht, um durch das Fernrohr zu ziehen, oder da ein Bogen von 360 Grad 24 Stunden braucht, also einer Stunde 15 Grad ent-

sprechen, so braucht man blos den in Stunden ausgedrückten Zeitunterschied mit 15 zu multipliciren, um den Abstand der zwei Sterne in Graden zu erhalten. Umgekehrt, wenn man von einem zweiten Stern seinen Abstand vom ersten kennt, so kann man durch Division mit 15 die Zeit finden, wann der zweite im Fernrohr erscheinen wird.

Wie man auf der Erde von einem ersten Meridian ausgeht, um die geographische Länge anzugeben, so hat man an der Himmelskugel ebenfalls einen ersten Meridian festgestellt und zwar den durch den Frühlingspunkt gehenden. Wenn irgend ein Punkt dieses Meridians im Kreuzungspunkt eines Fernrohrs erscheint, das genau in der Richtung nach Süden gestellt ist, so sagt man, es sei Null Uhr Sternzeit, d. h. von jetzt an zählt man die Sternzeit, 24 Stunden nach einander, und beginnt dann wieder von vorne. Statt Null Uhr kann man auch 24 Uhr sagen, aber nicht 12 Uhr, weil der Bequemlichkeit halber, um nicht Vormittag und Nachmittag, Tag und Nacht zusetzen zu müssen, die Sternzeit bis 24 gezählt wird. Aus der beobachteten Sternzeit des Durchgangs durch das Fernrohr ergibt sich nun wie vorher der Abstand zweier Sterne, und die Sternzeit des Durchgangs irgend eines Sterns gibt an, um wie viel später derselbe durch das Fernrohr geht, als der Frühlingspunkt oder irgend ein Punkt des ersten Meridians; nach dem vorhergehenden erhält man aus dieser Sternzeit durch Multiplication mit 15 den Abstand des Sterns vom Meridian durch den Frühlingspunkt, d. h. die sogenannte Rectascension des Sterns. Der hellste Stern im großen Löwen, Regulus, hat z. B. die Rectascension 150 Grad, wenn er

also in einem gegen Süden gerichteten Fernrohr erscheint, so ist es 10 Uhr Sternzeit. Auf jeder Sternkarte kann man für jeden Stern seine Rectascension ablesen und darnach die Zeit bestimmen, wann er in dem nach Süden gerichteten Fernrohre sich zeigt.

Will man nicht an einen einzigen Stern gebunden sein, um die Uhr zu controliren, so wendet man, wie das Römer vor bald 200 Jahren gethan hat, ein Fernrohr an, welches sich um eine horizotale Axe drehen kann, die genau von Ost nach West geht und auf der das Fernrohr senkrecht befestigt ist. Dreht man das Fernrohr um seine Axe, so beschreibt es einen Kreis am Himmel, der durch den Südpunkt des Horizonts, durch den höchsten Punkt des Aequators, durch das Zenith, den Nordpol und den Nordpunkt des Horizonts geht; einen Kreis, der den Namen Hauptmeridian oder schlechtweg Meridian des Beobachtungsorts erhalten hat.*) Wir haben ihn uns als fest verbunden mit der Erde zu denken, und wenn die Sterne sich scheinbar bewegen, so gelangt einer nach dem andern in diesen Meridian, und hat dann seine größte Höhe über dem Horizont, da er im Osten auf-, im Westen untergeht; man sagt dann, er culminire und die Culminationszeit ist nach dem obigen die Rectascension des Sterns, mit 15 dividirt. Sehr häufig gibt man die Rectascension nicht in Graden, sondern schon mit 15 dividirt in Stunden an, d. h. man gibt unmittelbar die Culminationszeit; z. B. Regulus hat 10 Stunden

*) vgl. S. 17.

Rectascension*), d. h. er culminirt um 10 Uhr Sternzeit, 10 Stunden später als der Frühlingspunkt.

Es fragt sich nur noch, welches Mittel man hat, um ein Fernrohr so zu richten, daß es genau nach Süden zeigt, daß seine Richtung in den Meridian des Orts fällt, oder kurz gesagt: wie bestimmt man den Meridian eines Orts? Eine Bestimmung vermittelst des Polarsterns haben wir schon früher kennen gelernt (S. 18), eine genauere beruht darauf, daß man ein Fernrohr, das um eine vertikale Axe drehbar ist, auf einen Stern einige Stunden vor seiner Culmination einstellt und abwartet, bis der Stern nach der Culmination in dem um die vertikale Axe gedrehten Fernrohre wieder durch den Kreuzungspunkt der Fäden geht, ohne daß das Fernrohr in der Höhe anders gestellt worden ist. Man hat den Stern vor und nach der Culmination bei gleicher Höhe beobachtet, also liegt die Culmination gerade in der Mitte, oder der Meridian liegt in der Mitte der zwei Richtungen des Fernrohrs: hat also dieses einen horizontalen Kreis, so darf man nur seine Richtung bei beiden Beobachtungen ablesen, gerade in die Mitte fällt dann die Richtung des Meridians.

Das oben beschriebene Instrument, das Römer zuerst brauchte, hat feste Lager, welche möglichst solid in Steinpfeiler eingelassen sind, damit ist es allerdings nur zu Beobachtungen im Meridian, zur Beobachtung des Durchgangs der Sterne durch den Meridian — daher der Name Durchgangs- oder Passageinstrument —

*) so auch auf den Tafeln I. und II.

zu brauchen, aber bei der Einfachheit des Instruments und der Solidität seiner Aufstellung sind jene Beobachtungen um so sicherer. Die Zeitbestimmung mit ihm beruht einfach darauf, daß man den Moment des Durchgangs irgend eines Sternes nach der Uhr notirt, und die Rectascension des Sternes in einem astronomischen Kalender nachsucht: der Unterschied beider Zahlen gibt den Fehler der Uhr. Ist die Oeffnung des Fernrohrs, d. h. der Durchmesser des Objectivs groß genug, so kann man bei Tag leicht die helleren Sterne sehen, wenn sie nur der Sonne nicht zu nahe sind, und also zu beliebiger Zeit eine Beobachtung machen, um die Sternuhr zu controliren.

Fährt man mit einem solchen Instrument oder mit dem vorher erwähnten festen Fernrohre längere Zeit fort zu beobachten, so findet man bald, daß der Durchgang eines und desselben Sterns im Lauf des Jahrs zu sehr verschiedenen Tageszeiten stattfinden kann, daß ein Abends durchgehender Stern bald nicht mehr gesehen wird, weil er bei hellem Tag erscheinen müßte, und daß er nach einem halben Jahr etwa Morgens sich zeigt. Die Sternzeit paßt nicht zu unserm bürgerlichen Tag. Die bürgerliche Zeit muß sich nach dem Lauf der Sonne richten, nach der Abwechslung von Tag und Nacht, von Morgen und Abend, von der wir mehr oder weniger abhängig sind: da bestimmte Arbeiten für den Morgen oder Mittag oder Abend vorbehalten sind, so ist es wünschenswerth, daß diese Tagesabschnitte auch von der Uhr immer gleich bezeichnet werden; das ist aber bei der Sternzeit nicht der Fall, weil derselbe Stern am Himmel bald Abends, bald Morgens, bald bei Tag, bald bei Nacht eine gegebene

Stelle einnimmt, da die Sonne ihre Lage unter den Fixsternen ändert. Nehmen wir an, die Sonne bewege sich gleichförmig, so legt sie täglich etwas weniger als einen Grad unter den Sternen zurück, in der Richtung von West nach Ost; wenn sie heute zugleich mit einem bestimmten Stern culminirt, so ist das morgen nicht mehr der Fall, denn die Sonne ist um ihre doppelte Breite rückwärts gerückt, kommt also später zur Culmination, um so viel Zeit später, als sie in Folge ihrer scheinbaren täglichen Bewegung braucht um einen Grad zurückzulegen, d. h. etwa 4 Minuten (360 Grad in 24 Stunden, 1 Grad in $\frac{1}{15}$ Stunde oder 4 Minuten). Der Sonnentag dauert also 4 Minuten länger als der Sterntag; die Sternuhr geht vor gegen Sonnenzeit, täglich um 4 Minuten, in einem Monat um 2 Stunden, in einem Jahr um einen Tag, sie ist also unbrauchbar für bürgerliche Verhältnisse. Im Anfang des Frühjahrs steht die Sonne im Frühlingspunkt; wenn sie culminirt, d. h. um 12 Uhr Mittags bürgerliche Zeit, hat man Null Uhr oder 24 Uhr Sternzeit; im Anfang des Sommers dagegen zeigt die Sternuhr im bürgerlichen Mittag schon 6 Uhr, im Herbst 12 Uhr und im Winter 18 Uhr. Die Sternzeit hat ihren großen Vortheil für astronomische Beobachtungen und es wird deswegen immer Sternuhren geben, weil sie sich mit dem Passageinstrument äußerst einfach controliren lassen, aber wir brauchen außerdem noch eine andere Zeit, die S o n n e n z e i t.

Das einfachste Mittel, die Sonnenzeit zu bestimmen, sind die sogenannten Sonnenuhren. Aus der Lage des Schattens, den ein Stab wirft, schließt man auf die

Stunde des Tags: man sieht leicht, daß dabei die Lage des Stabs nicht beliebig ist, denn Jedermann weiß, daß z. B. der Schatten eines vertikal gestellten Stabs oder einer Haus- oder einer Fensterkante im Allgemeinen im Sommer und Winter sehr verschieden fällt, weil die Sonne im Winter einen andern Stand hat als im Sommer; nur im Mittag ist die Richtung des Schattens das ganze Jahr hindurch gleich, wenn der Schatten werfende Körper vertikal steht. Denn der Schatten eines Stabs fällt ja immer in die Ebene, die man durch Stab und Sonne legt: im Mittag steht die Sonne im Meridian, der vertikale Stab liegt ebenfalls im Meridian, also ist die Ebene, in die der Schatten fällt, eben die Ebene des Meridians; gleichgiltig, ob die Sonne höher oder niederer steht, so oft sie sich in dem Meridian befindet, so oft sie culminirt, ist der Schatten des vertikalen Stabs immer in derselben Ebene, also auf jeder Fläche, von der er aufgefangen wird, der Richtung nach derselbe. Soll aber der Schatten zu jeder Tageszeit, nicht blos im Mittag, im ganzen Jahr gleich bleiben, so darf er nicht mehr vertikal gestellt werden. Um drei Uhr z. B. befindet sich die Sonne das ganze Jahr hindurch auf dem Meridian, welcher vom astronomischen Meridian um 45 Grade absteht; soll also der Stab stets denselben Schatten werfen, so muß der Stab in jenem Meridian liegen, und soll er für jede beliebige Zeit immer denselben Schatten geben, so muß der Stab so liegen, daß er in alle zugehörigen Meridiane fällt, d. h. da alle Meridiane durch die Erdaxe gehen, er muß mit der Erdaxe gleich gerichtet sein. Die ganze Kunst der Einrichtung einer

Sonnenuhr besteht also darin, daß ein Stab so genau als möglich der Erdaxe parallel gestellt und nachher der Schatten markirt wird, den er zu den einzelnen Stunden des Tages auf eine bestimmte Ebene wirft. Genaue Zeitbestimmungen kann man bei einer Sonnenuhr nie erwarten, da der Schatten, weil die Sonne kein Punkt, sondern eine Kugel ist, nirgends scharfe Grenzen hat, man wird in Folge dessen die Zeit durch sie selten genauer als auf einige Minuten erhalten.

Die wahre Sonnenzeit ist aus zwei Ursachen veränderlich: einmal ist die Erdbahn elliptisch und in Folge dessen die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn oder die scheinbare Geschwindigkeit der Sonne am Himmel nicht immer dieselbe, und zweitens ist die scheinbare Bahn der Sonne gegen den Aequator geneigt, so daß der Weg von einem Meridian zum andern bald länger, bald kürzer ist, desto länger, je schiefer die Bahn gegen die Meridiane liegt. In Folge der ersten Ursache bewegt sich die Sonne nach Kepler's zweitem Gesetz im Sommer, in der Sonnenferne, langsamer, im Winter, in der Sonnennähe, schneller, und es folgt aus der Art und Größe der Bahn, daß die Geschwindigkeit im Winter um etwa $1/_{14}$ größer ist als im Sommer. In Folge der zweiten Ursache braucht die Sonne im Sommer und Winter, wo sie am höchsten und tiefsten steht und nahe senkrecht zu den Meridianen sich bewegt, nicht so viel Zeit um von einem Meridian zum andern zu kommen, als im Herbst und Frühjahr, wo sie die Meridiane schief durchschneidet, also einen längern Bogen von Meridian zu Meridian zurückzulegen hat.

Bedenkt man nun, daß je rascher sich die Sonne be-

wegt, desto später ihre Rückkehr zum Meridian erfolgt, weil ihre scheinbare Bewegung entgegengesetzt der scheinbaren Bewegung der Himmelskugel vor sich geht, so kann man die zwei Resultate auch so ausdrücken: in Folge der ersten Ursache geht die wahre Sonnenzeit im Winter zurück gegen eine gleichförmig gehende Uhr, im Sommer vor, und in Folge der zweiten Ursache geht sie im Winter und Sommer zurück, im Herbst und Frühjahr vor. Durch das Zusammenwirken beider Ursachen hat man also im Winter beidemal Verzögerung, im Sommer Verzögerung durch die eine, Beschleunigung durch die andere — im Ganzen Verzögerung, da diese überwiegt — im Herbst und Frühjahr Beschleunigung, da die eine Ursache ganz wegfällt. Im November z. B. ist die wahre Sonne voraus, sie culminirt eine Viertelstunde vor dem bürgerlichen Mittag, sie geht aber nun rasch zurück, so daß nach dem 20. December beide Mittage zusammenfallen, und im Februar schon die wahre Sonne erst eine Viertelstunde nach dem bürgerlichen Mittag culminirt. Jetzt kommt die beschleunigende Wirkung des Frühjahrs: der Unterschied beider Zeiten wird kleiner und gleicht sich bis Mitte April ganz aus, dann geht die wahre Zeit wieder voraus, der Unterschied erreicht aber nur etwa 4 Minuten gegen Mitte Mai, wo der verzögernde Einfluß des Sommers sich langsam geltend macht. Mitte Juni ist die Gleichheit wieder erreicht, die Verzögerung geht noch darüber hinaus bis Ende Juli, wo die wahre Zeit um etwas mehr als 6 Minuten zurück ist, und nun wirkt schließlich die Beschleunigung des Herbstes, bis im November die wahre Zeit wieder eine Viertelstunde vor ist. Man nennt den

Unterschied der wahren Sonnenzeit und der bürgerlichen Zeit die Zeitgleichung; sie ist, wie wir gesehen haben, veränderlich innerhalb des Jahrs, aber auch von Jahr zu Jahr wechselt sie, so daß einem bestimmten Datum nicht immer dieselbe Zeitgleichung zukommt*): sie wird deswegen in den astronomischen Kalendern von Tag zu Tag angegeben, doch erstreckt sich die Veränderlichkeit nicht auf die Minuten, sondern nur auf die Secunden, so daß man in Minuten ausgedrückt eine für lange Zeit giltige Tafel der Zeitgleichung für jeden Tag des Jahrs geben kann.

Was ist denn nun aber die bürgerliche Zeit? Sie ist nicht Sternzeit und nicht wahre Sonnenzeit, das erste nicht, weil sonst die Tageszeiten von einem zum andern Tag um 4 Minuten gegen die Uhr sich verschieben würden, das zweite nicht, weil man keine Uhren construiren kann, welche der Sonne genau folgen. Man hat deswegen eine gedachte Sonne eingeführt, eine Sonne, welche sich bewegt, wie wenn die Erdbahn ein Kreis wäre und die Ekliptik mit dem Aequator zusammenfiele, eine Sonne also, welche sich im Aequator gleichmäßig bewegt. Man nennt sie die mittlere Sonne, und die Zeit, die sie gibt, die mittlere Sonnenzeit oder bürgerliche Zeit. Sie vollendet einen Umlauf in derselben Zeit, wie die wahre Sonne, und ihre jeweilige Lage ist somit vollkommen bestimmt, wenn man irgend einen der wahren

*) Hauptsächlich, weil das bürgerliche Jahr kleiner ist, als die tropische Umlaufszeit der Erde um die Sonne, und weil deswegen nach je drei gewöhnlichen Jahren ein um einen Tag längeres Schaltjahr folgt.

Sonne entsprechenden Stand kennt. Dies geschieht durch die Annahme, daß die mittlere Sonne auf dem Aequator von dem Frühlingspunkt eben so weit — in Graden ausgedrückt — entfernt ist, als die wahre Sonne auf der Ekliptik, wenn sie der Erde am nächsten ist.

Schon die Auseinandersetzung der verschiedenen Arten von Zeit, Sternzeit, wahre Sonnenzeit, bürgerliche Zeit, hat darauf geführt, wie dieselben bestimmt, d. h. wie die Uhren controlirt werden. Direct bestimmt kann nur die Sternzeit und die wahre Sonnenzeit werden, jene wie wir oben gesehen mit dem Passageinstrument, diese mit der Sonnenuhr oder genauer entweder wieder mit dem Passageinstrument oder, wie wir sogleich sehen werden, durch Messung der Sonnenhöhe; die bürgerliche Zeit muß immer erst durch Rechnung gefunden werden. Zu diesem Zweck enthält jeder astronomische Kalender für jeden Tag die Zeitgleichung, um aus der wahren Zeit die bürgerliche zu finden, und ebenso für jeden Tag die Sternzeit im mittlern Mittag, d. h. die Sternzeit, wenn unsere Uhren zwölf Uhr zeigen: nur ist in diesem Fall noch zu bedenken, daß die Sternstunden kürzer sind als die gewöhnlichen Stunden, daß für jede Sternstunde nahe zehn Secunden abzurechnen sind, um die gewöhnliche Stunde zu erhalten. Z. B. der hellglänzende Stern Sirius hat die Rectascension 6 Stunden 39 Minuten, d. h. wenn er culminirt, ist es 6 Uhr 39 Minuten Sternzeit; man kann fragen, um wie viel Uhr bürgerlicher Zeit z. B. am 1. Januar 1871 Sirius am höchsten steht. Nach dem Berliner astronomischen Kalender ist an diesem Tag die Sternzeit im bürgerlichen Mittag 18 Uhr 43 Minuten,

von da bis 6 Uhr 39 Minuten sind es aber 11 Stunden 56 Minuten Sternzeit, oder 11 Stunden 54 Minuten gewöhnliche Zeit (weil für 12 Stunden Sternzeit 2 Minuten abzuziehen sind), d. h. der Sirius culminirt so viel Stunden und Minuten nach Mittag, oder Abends 11 Uhr 54 Minuten. Hätte man 18 Stunden gefunden, so wäre dies 2. Januar Morgens 6 h, da man aber nicht die Culmination des 2. Januar haben will, so benützt man die Erfahrung, daß jeden Tag die Culmination um beiläufig 4 Minuten früher erfolgt; culminirt also der Stern heute um 6 h, so hat er gestern um 6 h 4 m culminirt. Alle Sterne, die in den ersten 4 Minuten eines bürgerlichen Tages culminiren, thun es am gleichen Tag in den letzten 4 Minuten noch einmal, weil die Zeit von einer Culmination zur andern um 4 Minuten kürzer ist als der bürgerliche Tag. Sagt man also z. B. 6 Uhr 42 Minuten Sternzeit am 1. Januar 1871, so ist das entweder Morgens 1 Minute nach 12 Uhr, oder Abends 3 Minuten vor Mitternacht. Theils um diesen Uebelstand zu vermeiden, der zu Verwechslungen führen kann, theils um im Lauf einer Beobachtungsnacht das Datum nicht ändern zu müssen, zählt der Astronom auch den bürgerlichen Tag mit 24 Stunden, und zwar vom Mittag an. So bedeutet also: 1. Januar 3 h so viel als Nachmittags 3 Uhr am 1. Januar, ferner 1. Januar 15 h so viel als Morgens früh 3 h am 2. Januar, und so fort. Elf Uhr Vormittags 1. Januar ist für den Astronomen 31. December 23 h u. s. w. Es hat somit keinen Anstand, jede Angabe in Sternzeit oder wahrer Sonnenzeit in bürgerliche Zeit umzuwandeln und,

es bleibt eben nur noch übrig, die genauere Bestimmung der wahren Sonnenzeit aus der Höhe der Sonne kennen zu lernen.

Es handelt sich dabei vorzüglich um Beobachtungen mit einem nicht fest aufgestellten Instrument, theils um es leicht transportiren zu können, theils wenn wie zu Schiff die feste Aufstellung überhaupt nicht möglich ist. Das gebräuchlichste Instrument zu diesem Zweck, das aber außerdem noch eine Reihe anderer Bestimmungen möglich macht, ist der Sextant.

Wenn man den Unterschied zweier Richtungen oder ihren Winkel messen will, so geschieht dies für gewöhnlich dadurch, daß man ein Fernrohr zunächst auf die eine, dann auf die andere einstellt und den Winkel beider Lagen des Fernrohrs auf dem getheilten Kreis abliest. Dies ist z. B. das Verfahren bei der Triangulation, wie wir sie oben kennen gelernt haben. Für den Astronomen ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da, bis er auf einen zweiten Stern einstellen würde, die Lage des ersten schon eine andere geworden wäre; und auf dem Schiff kann ohnehin von der Aufstellung des Fernrohrs nicht die Rede sein. Nun ist es aber eben die Messung des Winkels zweier Richtungen, was allen astronomischen Bestimmungen zu Grund liegt, man mußte also darauf kommen, ein Instrument zu ersinnen, womit dies möglich sei. Newton war es, welcher den Grundgedanken angab, Hadley verfertigte, vielleicht unabhängig von Newton, den ersten Sextanten (1731). Man denke sich (siehe Figur 38) einen in der Hand zu haltenden Rahmen in der Form eines Kreisausschnitts, ungefähr des sechsten Theils eines

Kreises (daher der Name) und senkrecht auf diesem Rahmen um eine durch die Mitte des Kreisbogens gehende Axe drehbar einen Spiegel, der einen Zeiger trägt, um seine Lage auf dem getheilten Kreisbogen ablesen zu können. Ihm gegenüber steht, ebenfalls senkrecht auf dem Rahmen, ein kleineres festes Spiegelglas, von welchem aber nur die untere Hälfte belegt ist; gegen dasselbe

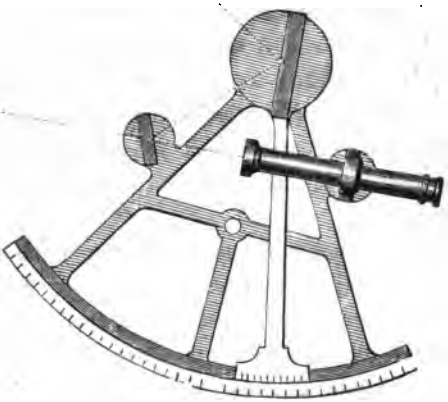


Fig. 38

ist ein kleines Fernrohr gerichtet, parallel zur Ebene des Kreisbogens gestellt. Sieht man durch das Fernrohr, so erhält man erstens durch die obere durchsichtige Hälfte des kleinern Spiegels Strahlen von einem Gegenstand, der in der Richtung des Fernrohrs liegt; zweitens von der untern Hälfte gespiegelte, von dem großen Spiegel herkommende Lichtstrahlen. Die letzten kommen von einem zweiten Gegenstand, der so liegt, daß die von ihm aus-

gehenden Strahlen vom großen Spiegel, dann vom kleinen Spiegel zurückgeworfen werden und schließlich in das Fernrohr gelangen. Man sieht also zwei Bilder zugleich, das eine direct, das andere durch zweimalige Spiegelung. Dreht man den großen Spiegel, während alles Andere bleibt, so wechselt der durch doppelte Spiegelung gesehene Gegenstand beständig, und es ist leicht nachzuweisen, daß wenn beide Gegenstände, der direct und der durch Spiegelung gesehene, weit entfernt sind, die Richtungen nach beiden hin den doppelten Winkel bilden, welchen die zwei Spiegel einschließen. Liest man also auf dem getheilten Kreis den Winkel der zwei Spiegel ab, nachdem z. B. die Bilder zweier Sterne durch Drehung des großen Spiegels zum Zusammenfallen gebracht worden sind, so hat man damit den scheinbaren Abstand der Sterne.

Mit einem solchen Sextanten in der Hand mißt der Geübte auch bei schwankendem Schiffe die Höhe eines Sternes oder der Sonne über dem Horizont, oder den Abstand des Monds von einem Sterne u. s. w. bis auf zehn oder zwanzig Secunden genau, und bestimmt damit Zeit, geographische Breite und geographische Länge. Jedes Gestirn, welches sich in Folge der Axendrehung der Erde scheinbar am Himmel bewegt, geht in Osten auf, erhebt sich allmählich über den Horizont, nähert sich seinem höchsten Stand, dem Culminationspunkt auf dem Hauptmeridian, erreicht ihn und sinkt dann, zuerst langsamer, dann rascher wieder im Westen unter den Horizont. So lange es über dem Horizont ist, ändert es jeden Augenblick seine Höhe und eben deswegen ist die Höhe über dem

Horizont ein Maß für die Zeit. Die Aenderung ist an verschiedenen Stellen seines Laufs verschieden, in der Nähe des Meridians geht sie sehr langsam vor sich, gegen Osten und Westen hin viel rascher: es wird sonach für genaue Zeitbestimmung vortheilhaft sein, die Höhe entfernt vom Meridian zu beobachten, nur nicht zu nahe am Horizont, da dort die Strahlenbrechung die wahre Höhe in einer sehr veränderlichen Weise vergrößert.

In Folge der Strahlenbrechung in der Atmosphäre*) erscheinen alle Sterne höher, als sie in Wirklichkeit stehen. Um die wahre Höhe zu erhalten, hat man daher von der beobachteten etwas abzuziehen, wie viel, das ergibt sich aus der folgenden kleinen Tafel:

Beobachtete Höhe	Strahlenbrechung	Beobachtete Höhe	Strahlenbrechung
90°	0′ 0″	40°	1′ 9″
85	5	35	23
80	10	30	40
75	16	25	2 4
70	21	20	38
65	27	15	3 33
60	33	10	5 18
55	41	5	9 50
50	49	0	33 0
45	58		

Von 15 Grad über dem Horizont bis zum Horizont nimmt die Strahlenbrechung sehr rasch zu und es läßt sich nicht mehr für die Richtigkeit der Tafel garantiren,

*) Siehe Pisko, Licht und Farbe. S. 88.

da dann die Strahlen durch einen Theil der Atmosphäre gehen, welcher in Folge menschlicher Thätigkeit und durch die Processe des pflanzlichen und thierischen Lebens den größten Umwandlungen in Bezug auf Temperatur und Zusammensetzung unterworfen ist. Daher zittern hier die Sterne auffallend, sie bewegen sich unregelmäßig hin und her, es läßt sich ihr wahrer Ort nicht zuverlässig angeben, so daß es besser ist, in der Nähe des Horizonts eine Beobachtung zu vermeiden. Eine bestimmte Grenze läßt sich natürlich nicht geben, da die Durchsichtigkeit und Klarheit der Atmosphäre beständig wechselt. Wie beträchtlich aber die Unterschiede sind, das zeigt sich einem aufmerksamen Beobachter leicht auf einem Standpunkt, von welchem aus er hinter einer nähern Bergfläche eine entfernte Thurm- oder Bergspitze wahrnehmen kann: je nach der Beschaffenheit des Wetters, in Beziehung auf Temperatur, Feuchtigkeit und Luftdruck, ragt die Spitze bald mehr, bald weniger über die Fläche hervor und schon im Lauf desselben Tages lassen sich mit einem solid aufgestellten Fernrohr merkliche Aenderungen nachweisen.

Hat man vermittelst der Tafel für Strahlenbrechung die beobachtete Höhe corrigirt, und die wahre Höhe gefunden, so ist noch die Aufgabe zu lösen, aus der Höhe die Zeit zu berechnen. Eine solche Berechnung ist nicht Jedermanns Sache, man hat daher in verschiedener Weise gesucht, die Bestimmung der Zeit aus der Höhe Allen zugänglich zu machen. Man hat Tafeln berechnet, welche für jeden Tag des Jahres die einer gegebenen Höhe der Sonne entsprechende Zeit geben: allein dieselben sind der Natur der Sache nach sehr umfangreich und daher ver-

hältnißmäßig theuer, sie gelten nur für bestimmte angenommene geographische Breiten und geben mit der Zeit Fehler von mehreren Minuten, einmal wegen der Verschiebung der Tage durch das Schaltjahr und dann wegen kleiner Aenderungen in der Richtung der Erdaxe. Es ist deswegen ein großes Verdienst, das sich Eble erworben hat, indem er eine auch dem Laien zugängliche Methode aufsuchte, aus der Höhe der Sonne die Zeit zu bestimmen, und dadurch, daß er zum speciellen Zweck der Höhenmessung den Sextanten auf die einfachste Form brachte, auch die Kosten des Instruments auf das geringste Maß zurückführte.

Ein getheilter Kreisbogen auf Holz aufgeklebt (Fig. 39) trägt im Mittelpunkt des Bogens einen feinen Faden mit einem kleinen Gewicht. Stellt man den Kreis vertikal auf einem einfachen Statif auf, so kann man ihn mit dem Statif und noch in seiner Ebene drehen. Kommt bei dieser Drehung der feine Faden auf den Nullpunkt der Theilung, so ist ein kleiner viereckiger Kanal von Holz, der an dem Sextanten befestigt ist, in horizontaler Lage. Am Anfang dieses Kanals ist dieser durch eine dünne Platte geschlossen, welche zwei kleine Oeffnungen dicht über einander hat; das Ende des Kanals ist offen, aber gleich hinter der Oeffnung ist eine kleine Metallplatte angebracht, mit einem deutlichen horizontalen Strich. Stellt man diesen Kanal so gegen die Sonne, daß die durch die zwei Oeffnungen gehenden Sonnenstrahlen zwei kleine helle Scheibchen auf der Metallplatte, das eine oberhalb, das andere unterhalb des Strichs, entstehen lassen, so hat die Axe des Kanals die Richtung zur Sonne

und das Senkblei gibt auf dem getheilten Bogen den Winkel des Kanals gegen den Horizont oder die Höhe der Sonne.

Hat man von der beobachteten Höhe die Strahlenbrechung abgezogen, so benutzt man zur Auffindung der Zeit ein eingetheiltes Lineal und ein „astronomisches Netz". Aus einem astronomischen Kalender, wie man ihn gegen-

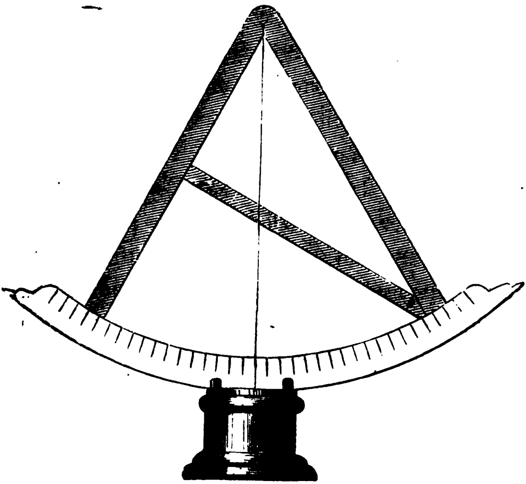


Fig. 39.

wärtig alljährlich in verschiedenster Gestalt beziehen kann*), entnimmt man die Declination der Sonne für den betreffenden Tag, d. h. ihren Abstand vom Aequator, und berechnet für den Ort, wo man ist, die höchste Höhe und die größte Tiefe der Sonne an diesem Tage: die

*) z. B. Kalender für alle Stände von K. v. Littrow. Wien, bei K. Gerold.

erste, indem man zur höchsten Höhe des Aequators oder zur Ergänzung der Polhöhe zu 90 Grad die Declination addirt, die letzte, indem man sie von der größten Tiefe des Aequators (wieder die Ergänzung der Polhöhe) abzieht. Nun wird der eine von zwei auf dem Lineal beweglichen Zeigern auf die größte Höhe, der andere auf die größte Tiefe eingestellt und das Lineal so auf das astronomische Netz gelegt, daß die Zeiger genau auf die äußersten schiefen Linien des Netzes zeigen, während das Lineal selbst den parallelen Linien parallel liegt (siehe Fig. 40). Die beobachtete Höhe auf dem Lineal auf-

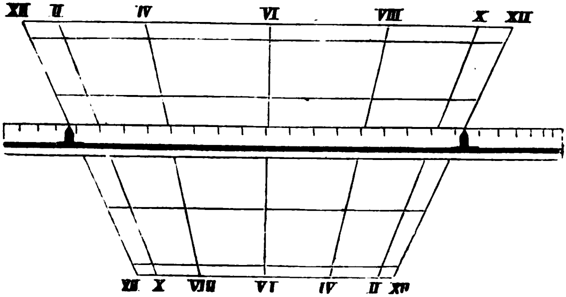


Fig. 40.

gesucht stimmt dann mit einer schiefen Linie, an deren Ende oben oder unten die Zeit der Beobachtung zu finden ist. Die ganze Operation ist so einfach, Instrument und Methode ist so unabhängig von der Lage des Orts, wo, und von der Zeit, wann es benutzt wird, daß es nur wundern kann, wie es kommt, daß dieser Sextant so wenig verbreitet ist. Auch zur Bestimmung der Polhöhe eines Orts läßt es sich gebrauchen, indem man im wahren Mittag die Sonnenhöhe bestimmt.

Zieht man von dieser die Declination ab, so hat man die Aequatorhöhe und daraus als Ergänzung zu 90° die Polhöhe, so daß selbst an einem Ort, dessen geographische Breite nicht bekannt sein sollte, durch zwei Beobachtungen, eine im wahren Mittag und eine Morgens oder Abends, Zeit und Breite sich bestimmen lassen. In einer Zeit, wo die Eisenbahnen eine Kenntniß der Zeit bis auf eine Minute überall wünschenswerth machen, kann dieses Instrument, das die Zeit auf eine halbe Minute genau gibt, nicht genug empfohlen werden.

---

2. Bestimmung der geographischen Breite.

Je weiter man auf der Erde gegen Norden reist, desto höher hebt sich am gestirnten Himmel der Polarstern, je weiter gegen den Aequator, desto tiefer sinkt er; und beidemal ändert sich zugleich damit der Anblick des ganzen gestirnten Himmels. Während am Aequator alle Sterne vom Horizont aus vertikal sich erheben und in vertikaler Richtung wieder untergehen, zwölf Stunden oberhalb und eben so viel unterhalb des Horizonts verweilen, während dort die ganze Himmelskugel vom Nordpol bis zum Südpol im Lauf jedes Tages über den Horizont tritt, zeigt sich am Pol der Gegensatz dazu: jeder Stern beschreibt einen zum Horizont parallelen Kreis, geht nicht auf und geht nicht unter, der Polarstern steht im Zenith, die Sterne der einen Hälfte der Himmelskugel werden beständig gesehen, die der andern Hälfte gar nie. In mittlern Breiten erheben sich die Sterne schief aus dem

Horizont und bewegen sich in Bahnen, die sich immer mehr erheben, bis im Hauptmeridian der Culminationspunkt erreicht ist und die Abwärtsbewegung wieder beginnt. Der ganze Anblick des Himmels hängt also von der Polhöhe oder geographischen Breite ab, also auch die Höhe, die irgend ein Himmelskörper im Laufe des Tages erreicht. Will man somit die Zeit aus der Höhe bestimmen, so braucht man die geographische Breite, und will man diese bestimmen, so ist in der Regel, wie wir sehen werden, die Kenntniß der Zeit nothwendig oder zum wenigsten erwünscht. Es scheint daher, als ob wir uns im Kreise bewegen, wir wollen die Zeit mit Hilfe der Breite und dann die Breite mit Hilfe der Zeit bestimmen: dasselbe trifft sich nicht selten in der Astronomie, es wird vorausgesetzt, was erst später gefunden werden soll und darauf weiter gebaut, um dann dieses später finden zu können; es liegt hierin kein Widerspruch, das Wesen des Verfahrens besteht darin, daß man allmählich zur genauen Kenntniß der Dinge vorzudringen sucht, daß man sich zuerst eine Näherung gefallen läßt, um das Resultat ungefähr zu finden, und dann allmählich immer mehr genäherte Werthe aufsucht. So genügt zur Zeitbestimmung vorerst ein genäherter Werth der Breite, etwa die Polarsternhöhe zu beliebiger Zeit; mit der genäherten Zeit läßt sich die Breite schon genauer bestimmen, dann wieder die Zeit und durch Wiederholung dieser Operationen, bis schließlich keine größere Näherung mehr erzielt wird, bis die letzten zwei Werthe übereinstimmen, kann man ein so genaues Resultat erreichen, als überhaupt unsere Instrumente möglich machen. Es

wird also kein Widerspruch darin gefunden werden, wenn man bei der Zeitbestimmung die Kenntniß der Breite, und bei der Breitenbestimmung die der Zeit verlangt.

Wäre der Polarstern genau im Nordpol, so wäre die Breitenbestimmung mit der Bestimmung seiner Höhe abgemacht. Da er aber in Wirklichkeit einen kleinen Kreis am Himmel beschreibt, dessen Halbmesser etwa drei Sonnenbreiten ist, so würde man aus einer beliebigen Beobachtung des Polarsterns die Breite möglicherweise um $1\frac{1}{2}$ Grad falsch finden. Um dies zu vermeiden, beobachtet man seine Höhe zur Zeit wo er am höchsten steht und zur Zeit wo er am tiefsten steht; das Mittel beider Werthe gibt dann die richtige Höhe. Die genäherte Kenntniß der Zeit ist hiebei nöthig, da man berechnen muß, wann der Polarstern culminirt, in der Art, wie es oben mit dem Sirius geschehen ist. Kennt man die Zeit ziemlich genau, so genügt auch eine einzige Beobachtung der Culmination eines Sterns; wie schon oben gezeigt wurde, hat man dann von der Höhe die Declination abzuziehen, um die Aequatorhöhe oder Ergänzung der Polhöhe zu erhalten.

Eine andere Bestimmung der Breite beruht auf der schiefen Lage der scheinbaren Bahnen der Sterne gegen den Horizont. Ein Theil dieser Bahnen (siehe Fig. 41) in der Nähe des Nordpols bleibt ganz auf der nördlichen Hälfte der scheinbaren Himmelskugel, welche durch den vertikalen Kreis, der vom Ostpunkt des Horizonts durch das Zenith zum Westpunkt geht und der erste Vertikal heißt, abgegrenzt wird. Nehmen wir dann Sterne, die immer weiter vom Nordpol entfernt sind, so wird endlich

einer gerade noch das Zenith treffen, aber nicht auf die durch jenen ersten Vertikal abgegrenzte südliche Hälfte treten; ein noch weiter vom Nordpol entfernter aber wird einen kleinen Bogen in der südlichen Hälfte, den ganzen Rest seiner Bahn in der nördlichen beschreiben: je kleiner jener Bogen, desto kürzer ist die Zeit, in der er beschrieben

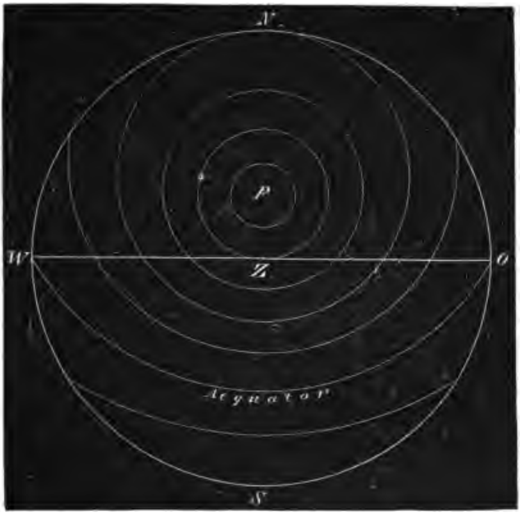


Fig. 41.

wird, und desto näher geht der Stern am Zenith vorbei. Stellt man einen Theodolith so auf, daß das Fernrohr dem ersten Vertikal folgt, so kann man die Zeit des Durchgangs im Osten und im Westen durch den ersten Vertikal bestimmen und daraus ableiten, was die größte Annäherung des Sterns an das Zenith war. Kennt man

dann die Declination des Sterns, oder was auf dasselbe hinauskommt, seine Entfernung vom Nordpol, so ist auch dessen Lage bestimmt. Diese Methode der Breitenbestimmung ist deswegen bemerkenswerth, weil blos die Zeitdauer zwischen den beiden Durchgängen durch den ersten Vertikal bestimmt wird, kein Winkel, so daß also kein sorgfältig getheilter Kreis nöthig ist. Freilich ist nöthig, daß man die Declination des beobachteten Sterns möglichst genau kenne, allein diese Bestimmung kann auch an einem andern Ort gemacht werden und wird an den größern Sternwarten ausgeführt. Mit Hilfe der von Andern gemachten genauen Beobachtung kann man dann mit gewöhnlichen Instrumenten die Polhöhe nahezu so genau bestimmen, als mit solchen, die die größten getheilten Kreise haben.

Verbindet man mit dem Passageinstrument, wie es früher beschrieben wurde, einen großen getheilten Kreis bis zu drei Fuß Halbmesser, so hat man den Meridiankreis, wie er zuerst von Reichenbach ausgeführt wurde. Mit ihm wird die Durchgangszeit durch den Meridian und zugleich der Abstand vom Aequator oder die Declination bestimmt; diese Instrumente sind es, welche zur Herstellung der Sternverzeichnisse dienen, welche die Rectascension und Declination der Sterne feststellen und damit für jeden andern Ort Zeit- und Breitebestimmung mit kleineren Instrumenten ermöglichen.

Das dritte für eine Sternwarte wesentliche Instrument ist ein „parallaktisch montirtes“ Fernrohr. Ein Theodolith mit einer horizontalen und einer vertikalen Axe ist unbequem, wenn man den Lauf eines Sterns, eines

Planeten u. s. w. verfolgen will, da sich Höhe und Azimuth beständig ändert, also stets eine doppelte Bewegung nöthig ist, eine Drehung um die vertikale und eine um die horizontale Axe. Dies wird vermieden, wenn das Fernrohr um eine zur Erdaxe parallele Axe drehbar gemacht wird: hat man einmal nach der bekannten geographischen Breite die Axe richtig gestellt, und das Fernrohr auf einen Stern eingestellt, so braucht man nur um die Axe zu drehen, damit der Stern beständig im Gesichtsfeld bleibe; und bringt man an einem solchen Instrument das oben beschriebene Uhrwerk an, so folgt das Fernrohr beständig dem Sterne nach, er erscheint unbewegt im Gesichtsfeld. Ein solches Instrument dient nicht zu absoluten Messungen der Lage, der Höhe, der Declination u. s. w., sondern einmal zur Erforschung des Aussehens der Oberfläche der nähern Himmelskörper, zur Beobachtung der lichtschwächsten Objecte, Nebel, Kometen u. s. w., zur Spectraluntersuchung der Himmelskörper, zu photographischen Aufnahmen und dergleichen, und dann gewöhnlich vermittelst eines verschiebbaren Fadens zur Messung von Abständen zweier zugleich im Fernrohr sichtbarer Gegenstände, z. B. des Abstands zweier Doppelsterne, des Abstands eines lichtschwachen Kometen von einem der Lage nach bekannten Stern u. s. w. In den meisten Fällen ist eine bedeutende Vergrößerung zu solchen Untersuchungen nöthig, doch wird in unsern Breiten die Zahl 400 nicht oft überschritten, da die Klarheit des Himmels selten groß genug ist, um bei stärkerer Vergrößerung noch deutlich zu sehen. Je stärker die Vergrößerung ist, desto mehr muß Licht in das Fernrohr

eintreten können, weil sonst die Bilder zu schwach leuchtend würden, desto reiner und gleichmäßiger müssen die Linsen sein, weil jeder Fehler in gleichem Maße vergrößert wird: daher sind diese Instrumente, die gewöhnlich den Namen „Refractoren" tragen, der kostspieligste Theil der Einrichtung einer Sternwarte.*) Um möglichst freien Horizont zu haben, werden sie in der Regel höher aufgestellt, in einem kleinen Thurm mit drehbarer Kuppel: vollkommen solide Fundamentirung, wie sie nur auf ebenem Boden möglich ist, ist hier entbehrlich, da es sich nicht um absolute Messungen handelt.

---

3. Bestimmung der geographischen Länge.

Für Orte gleicher Breite ist der Anblick des Himmels derselbe, da der Nordpol gleiche Lage zum Horizont hat und in Folge dessen alle Sternbewegungen in gleich gelegenen Parallelkreisen vor sich gehen. Ein Unterschied besteht nur darin, daß der Anblick nicht gleichzeitig derselbe ist. Da die Himmelskugel sich scheinbar von Ost nach West dreht und da in Folge dessen die Gestirne im Osten aufgehen, so werden sie an einem östlicher gelegenen Ort früher gesehen; aus demselben Grunde wird der höchste Stand eines Sterns an einem östlicher liegenden Ort früher eintreten, und zwar, da von einem höchsten Stand zum andern 24 Stunden Zeit vergehen, also auf 15 Grad eine Stunde, auf einen Grad 4 Minuten kommen, für

---

*) siehe Pisko Licht und Farbe. S. 232 und folg.

jeden Grad weiter östlich um 4 Minuten früher. Diese Schlußfolgerung gilt für jede Zeit, Sternzeit, wahre Sonnenzeit und bürgerliche Zeit. Denken wir uns also zwei Orte, die um einen Grad auseinander sind, so culminirt am östlicher gelegenen ein Stern um 4 Minuten Sternzeit früher, die Sonne um 4 Minuten wahre Zeit früher und die Uhr des Orts geht um 4 Minuten bürgerliche Zeit vor.

Hat man eine tragbare Uhr, von der man versichert ist, daß sie gut geht, so besitzt man das einfachste Mittel, den Längenunterschied zu bestimmen: man richtet die Uhr nach der Zeit des Ortes, von dem man ausgeht, bringt die Uhr an den zweiten Ort und vergleicht ihren Stand mit der dortigen Zeit. Der Längenunterschied beträgt dann so viel Viertelsgrade, als der Unterschied der Uhren Minuten beträgt. Ehe die Telegraphen bekannt waren, war dies das genaueste Mittel, den Längenunterschied zweier Orte zu bestimmen, insbesondere wenn man den Weg hin und zurück machte und nach langer Beobachtung eines Chronometers sich vom gleichmäßigen Gang desselben überzeugt hatte.

Die Verschiedenheit der Zeit an verschiedenen Orten macht sich heutzutage Jedermann fühlbar beim Uebergang von einem Eisenbahnsystem zu einem andern, da die Fahrzeiten jedes Systems nach der Uhr des Hauptorts sich richten: z. B. beim Uebergang von Frankreich nach Preußen ändert sich die Zeit plötzlich um 21 Minuten, da die französischen Bahnen sich nach Pariser, die an Frankreich grenzenden preußischen Bahnen nach Kölner Zeit richten; wer von Paris kommt, muß seine Uhr um 21

Minuten vorrichten, wer dahin geht, um 21 Minuten nach. Eine telegraphische Depesche von Paris nach Köln braucht — scheinbar — jedenfalls 21 Minuten, weil die Aufgebezeit nach Pariser Uhr, die Ankunftzeit nach Kölner angegeben ist; umgekehrt kann eine Depesche von Köln nach Paris früher ankommen, als sie aufgegeben ist, wieder scheinbar, weil man Ankunft und Abgang nach verschiedenen Ortszeiten rechnet. Eine absolute, für alle Orte der Erde gleiche Zeit gibt es nicht, sie hätte einen ähnlichen Uebelstand, wie die Sternzeit; für den einen Ort wäre im Mittag die Uhrzeit 12 Uhr, für einen andern 1 Uhr oder 2 Uhr u. s. w. Eben deswegen rechnet man an jedem Ort nach der Ortszeit, nach welcher der Mittag immer mit 12 Uhr bezeichnet wird. Diese Rechnung hat nun freilich sonderbare Folgen. Man nehme an, daß Jemand eine Reise um die Welt mache, mit einer Uhr versehen, welche nach der Ortszeit des Ausgangspunkts gerichtet ist, vollkommen gut geht und außer den Tagesstunden auch noch das Datum gibt. Wird die Reise in der Richtung nach Osten ausgeführt, so bleibt die mitgenommene Uhr immer mehr gegen die Zeit der allmählich erreichten Orte zurück, der Mittag trifft immer früher ein, nach halb vollendeter Reise fällt der Mittag auf die Mitternacht, der Zeiger, der das Datum gibt, springt um Mittag von einer Zahl zur folgenden. Dann fällt der Mittag auf den Tag vorher, d. h. wenn die Ortszeit z. B. 6. Juli Mittags ist, zeigt die Uhr erst Abends am 5. Juli, und schließlich, wenn der Ausgangspunkt wieder erreicht ist, so fällt der Mittag desselben mit dem des vorhergehenden Tages zusammen. Das ist nun

aber unmöglich, denn die Uhr geht nach der Zeit jenes Orts, muß also auch nothwendig gleiches Datum zeigen, wie jede an jenem Ort zurückgebliebene Uhr. Macht man die Reise nach West, so zeigt sich ein ähnlicher Widerspruch: es sollte die mitgenommene Uhr immer mehr vorwärts gehen, und schließlich bei der Rückkehr um 24 Stunden, sie wird aber offenbar wieder gleich zeigen, wie die Uhren des Ausgangspunkts. Wie reimt sich das zusammen? Klar ist zunächst, daß bei der Reise nach Osten jeder Tag — diesen von Mittag zu Mittag gerechnet — kürzer sein muß, weil der Reisende der Sonne entgegen geht, so daß für ihn die Sonne täglich früher culminirt. Schließlich bei der Rückkehr tritt der Mittag um einen vollen Tag früher ein, d. h. der Reisende hat einen Tag weiter erlebt, als der am Ausgangspunkt Zurückgebliebene, aber jeder Tag hat für ihn kürzer gedauert, er hat also nicht einen Tag als Zeitmaß, oder 24 Stunden gewonnen, sondern er hat eben nur einen Sonnenaufgang oder einen Mittag weiter erlebt: es hat sich in denselben Zeitraum ein Tag weiter eingeschoben. Umgekehrt bei der Reise nach Westen erscheint jeder Tag länger, weil der Reisende der Sonne nachfolgt, er verliert einen Tag, er hat einen Sonnenaufgang weniger.

Es ist also klar, daß an Zeit nichts verloren wird, in einem Fall sind alle Tage kürzer, es wird ein Tag gewonnen, im andern sind alle länger, es wird einer verloren. Was aber das Datum betrifft, so kann noch ein Zweifel bleiben, ob es erlaubt ist, die kürzern oder die längern Tage als gewöhnliche zu betrachten, so daß von einem zum andern das Datum sich ändert. Denken wir

uns, um darüber ins Reine zu kommen, zwei Reisende, von denen der erste nach Osten, der zweite nach Westen reist, die etwa von einem Orte Deutschlands ausgehen und zugleich in Kalifornien eintreffen: ihre von Haus mitgenommenen Uhren zeigen gleich, da sie gleich lang von Hause entfernt sind: z. B. 17. August Abends 8 Uhr. Derjenige, der über das atlantische Meer gereist ist, weiß, daß seine Uhr immer gegen die Zeit der Orte, die er durchreiste, vorgegangen ist, er wird also schließen, da er ungefähr 120 Längengrade zurückgelegt hat, welche acht Stunden Zeitdifferenz entsprechen, es sei Mittag des 17. August in Kalifornien. Der andere, der über den großen Ocean gekommen ist, weiß, daß seine Uhr immer zurück war gegen die Zeit der durchreisten Orte und da er beiläufig 240 Längengrade zurückgelegt hat, so wird er zu dem Schlusse kommen, es sei in Kalifornien Mittag des 18. August. Beide Schlüsse sind richtig und doch kann in Kalifornien nicht Mittag des 17. und des 18. August zu gleicher Zeit sein. Wir sehen daraus, daß in der Rechnung des Datums etwas willkührliches, durch Sitte, nicht durch Naturgesetz Gebotenes liegt. Es kann nicht auf der ganzen Erde zugleich 17. August sein, die einen Orte haben den 17. die andern den 16. oder 18; denn nehmen wir an, im jetzigen Moment schreibe man überall den 17. August, so gäbe es Orte, an welchen dieses Datum eben beginnt, sie haben Mitternacht, neunzig Grade gegen Osten hätte man 17. August 6 Uhr Morgens, wieder 90 Grade östlicher 12 Uhr Mittags, noch einmal 90 Grade östlicher 6 Uhr Abends und schließlich abermals 90 Grade östlicher 12 Uhr Mitternacht vom 17.

zum 18. August: damit sind wir aber um die ganze Erde herumgekommen, wir wollen vorerst nicht sagen zum Ausgangspunkt, sondern nur zu einem dem Ausgangspunkt sehr nahe gelegenen Punkt. Dieser hätte Mitternacht vom 17. zum 18. August, der Ausgangspunkt Mitternacht vom 16. zum 17., zwei in der nächsten Nähe gelegene Orte würden also im Datum um einen Tag abweichen. Auf dem Festland kommt dies nur in Nordamerika vor, an der Grenze des frühern russischen Nordamerika und der Vereinigten Staaten: die Einwohner der Insel Sitka z. B. sind denen von San Francisco um einen Tag voraus, so daß nach kurzer Reise der Sprung im Datum stattfindet. Sonst aber sind die Orte westlich und östlich von dem Mittelpunkt, von dem aus der europäische Kalender sich verbreitet hat, durch eine große Kluft, durch den großen Ocean, geschieden und dadurch ist der plötzliche Sprung zwischen zwei unmittelbar angrenzenden Orten vermieden, er vollzieht sich auf längerer Seefahrt, und wurde schon von den ersten Weltumseglern bemerkt. Amerika, Asien und Australien erhielten den europäischen Kalender von Europa aus, somit ist Amerika gegen Europa im Datum zurück, haben wir den 17. August Morgens früh, so hat Amerika erst den 16. August Abends spät; Asien und Australien dagegen sind voraus, sie haben zu gleicher Zeit 17. August, Mittags bis Abends. Auf den Inseln des großen Oceans, so weit sie von Europäern bewohnt sind, vollzieht sich nun der Sprung: die über Amerika bevölkerten richten sich nach Amerika, die über Asien bezogenen nach Asien, so daß die letztern 17. August Abends, die ersten 16. August Abends haben können, obgleich sie in nächster

Nähe liegen. Die Tageszeit ist an dem Himmel angeschrieben, das Datum ist der Sitte überlassen, oder besser gesagt historischen Ursprungs.

In ähnlicher Weise ist der Längenunterschied zweier Orte vollkommen bestimmt, aber die absolute Länge beliebig, d. h. man kann die geographische Länge von einem beliebigen Punkte aus rechnen oder man kann den ersten Meridian beliebig legen. Als zuerst die Frage auftauchte, legte man ihn durch die kanarischen Inseln, als die äußersten bekannten Punkte der alten Welt nach Westen, von 1630 an bestimmter durch die Westspitze der westlichsten jener Inseln, Ferro. Der Meridian von Ferro galt nun als Anfangspunkt der Längenmeridiane, wobei entweder nach Osten hin bis 360° zum Ausgangspunkt zurück, oder nach Osten hin bis 180 Grad und ebenso nach Westen gezählt wurde. Es lag aber in der Natur der Sache, daß ein solcher natürlicher Meridian von der Wissenschaft nicht beibehalten werden konnte, da er nicht genau festzustellen war, die Hauptsternwarten hatten das Vorrecht, Anfangspunkte der Längenbestimmungen zu sein, weil sie bestimmte fixe Punkte hatten, die mit der Zeit nicht wohl verloren gehen konnten. Der Meridian der Pariser und der der Greenwicher Sternwarte stritten sich nun um das Vorrecht, und wenn bei den jetzigen Karten der Meridian von Ferro, wenigstens in den meisten Ländern Europa's noch beibehalten ist, so ist das nur dem Umstande zuzuschreiben, daß der Pariser Meridian nahe 20 Grade östlich von Ferro liegt, so daß es möglich war, noch einen fingirten Meridian von Ferro anzunehmen, welcher genau 20° westlich von Paris liegt. Jene Karten richten sich also streng genom-

men nach Paris, nicht nach Ferro, und daß sie sich nicht nach Greenwich richten, liegt sicher daran, daß der Uebergang von Ferro zu ihm, ein Unterschied von 17 Grad 40 Minuten, zu unbequem war.

Die oben angeführte Art der Bestimmung der Länge durch Transport von genau gehenden Uhren oder Chronometern ist noch heute die zu Schiffe übliche. Beobachtet man bei heiterem Himmel die Zeit des Ortes, an welchem sich eben das Schiff befindet und hat man an Bord einen z. B. in Greenwich gerichteten oder verglichenen Chronometer mitgenommen, so gibt der Unterschied der beiden Zeiten den Längenunterschied gegen Greenwich und in Verbindung mit einer Breitenbestimmung den Ort, wo sich das Schiff eben befindet. Darauf beruht der große Werth gut gehender Chronometer und der hohe Preis, der für sie bezahlt wird: in mittlern Breiten entspricht einer Entfernung von 300 Meter in ostwestlicher Richtung eine Zeitdifferenz von einer Secunde, ist man also bei einem Chronometer bis auf die Secunde sicher und kann man die Ortszeit ebenso genau bestimmen, so kennt man die Lage des Schiffs in Länge bis auf 300 Meter. Bis aber Chronometer, die ähnliches leisteten, zu haben waren und für den Fall, daß Störungen im Gang eintreten, was erfahrungsmäßig bei jeder Uhr vorkommt, war es nöthig, sich noch nach andern Mitteln umzusehen, um die geographische Länge zu bestimmen.

Alle zu diesem Zwecke vorgeschlagenen Mittel beruhen entweder darauf, daß an verschiedenen Orten eine und dieselbe Erscheinung beobachtet wird — der Unterschied der an beiden Orten für diesen gleichen Moment beobach-

teten Ortszeiten ist der Längenunterschied — oder daß die Lage eines nahen Gestirns, am besten des Monds, in Beziehung auf die Fixsterne beobachtet wird — aus der Verschiedenheit der Lage für den Beobachtungsort gegenüber der durch Rechnung für den Erdmittelpunkt gefundenen kann man dann auf die Länge des Orts schließen. Zu der ersten Art von Beobachtungen gehört, wenn es sich um kleinere Distanzen handelt, die Benützung von Pulversignalen: so wurde der Längenunterschied von Straßburg und Tübingen durch gleichzeitige Beobachtung von Pulversignalen bestimmt, welche auf der Hornisgrinde, der höchsten Höhe des Schwarzwalds auf der Linie Straßburg-Tübingen, gegeben wurden. Auf größere Entfernungen oder auf dem Meere sind solche künstliche Signale unmöglich, man kann dann Himmelserscheinungen benützen, welche für alle Beobachter gleichzeitig erfolgen, und das sind alle wirklichen Verfinsterungen, insbesondere die des Monds und der Jupitertrabanten.*)

Es vergeht kaum ein Tag, an welchem keine Verfinsterung eines Jupitertrabanten stattfände, und da die Beobachtung dieser Finsternisse schon mit einem ganz gewöhnlichen Fernrohr möglich ist, so hat man, vorausgesetzt, daß Jupiter sichtbar ist, ein einfaches Mittel die

---

*) Die Verfinsterungen der Sonne sind keine wirklichen Verfinsterungen, da der Sonne kein Licht entzogen wird. Wenn ein Stern hinter den Mond tritt, so spricht man richtig von einer Bedeckung, es ist dieser Name daher auch der allein passende für die sogenannten Sonnenfinsternisse, und er wird von hier an ausschließlich gebraucht werden.

Länge zu bestimmen, wenn man weiß, wann die Finsterniß an einem andern bekannten Ort eintritt. Im nautical almanac, dem Jahrbuche der Greenwicher Sternwarte, ist jede solche Finsterniß zum Voraus berechnet: zieht man also von der beobachteten Ortszeit die berechnete ab, so hat man den Längenunterschied gegen Greenwich. Viel seltener dagegen sind die Verfinsterungen des Erdmonds, in der oben berührten 19 jährigen Periode kommen im Mittel nur 29 vor, also jährlich keine zwei; dagegen ist die Verfinsterung schärfer zu beobachten, weil der Mond viel näher ist. Die erste Berührung des Erdschattens mit dem Mond ist allerdings nicht leicht genau festzustellen, aber es gibt auf dem Monde eine große Anzahl markirter Punkte, besonders die Ringgebirge, deren Eintritt in den Schatten sehr sicher sich bestimmen läßt.

Der Verlauf einer Mondsfinsterniß läßt sich leicht durch eine Zeichnung veranschaulichen. Aus der Entfernung der Erde von Mond und Sonne, wie sie in den astronomischen Kalendern gegeben wird, läßt sich leicht die Größe des Erdschattens an der Stelle, wo der Mond sich befindet, berechnen: für die Finsterniß vom 12. Juli 1870 stellt der große Kreis der Figur 42 den Erdschatten vor. Dieser bewegt sich unter den Fixsternen von der Erde aus gesehen gerade so wie die Sonne, ist nur immer gerade auf der entgegengesetzten Seite des Himmels. Auch der Mond bewegt sich unter den Fixsternen, da aber bei der Finsterniß nur seine Verschiebung gegen den Erdschatten von Interesse ist, so denken wir uns den Erdschatten fest und lassen den Mond nur mit dem Unterschied beider Geschwindigkeiten sich bewegen. Aus den Angaben des astro-

nomischen Kalenders ergibt sich die Stellung des Mondmittelpunkts im Augenblick des Vollmonds im Punkte II senkrecht unter dem Mittelpunkt des in die Ekliptik fallen-

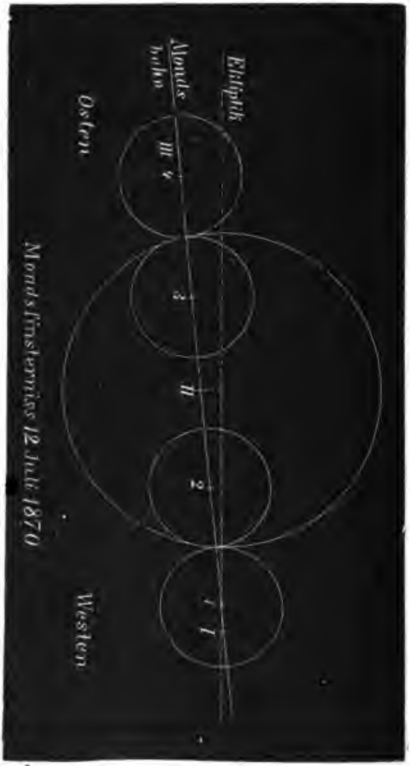


Fig. 42.

den Mittelpunkts des Erdschattens; zwei Stunden vorher war er in I, zwei Stunden nachher in III, so daß die Linie, auf welcher diese drei Punkte liegen, die Bahn des

Mondmittelpunkts in Beziehung auf den Erdschatten vorstellt. Beschreibt man Kreise, welche im Verhältniß zur Größe des Erdschattens den Mond vorstellen, und zwar so, daß sie den Erdschatten vor und nach dem Eintritt sowohl, als vor und nach dem Austritt berühren, so geben die Mittelpunkte 1 und 2 und dann 3 und 4 durch ihre Lage zwischen I und II und nachher zwischen II und III unmittelbar die Zeiten vor und nach dem Vollmond, zu welchen die Verfinsterung beginnt, total wird, aufhört total zu sein und endlich ganz aufhört, wenn man, was immer gestattet ist, sobald es sich nur um Minuten handelt, die Mondsbewegung während der Dauer der Finsterniß als gleichförmig betrachtet. Zugleich gibt die Figur an, wo der Eintritt des Schattens zu suchen ist, und wo der Mond zum erstenmal wieder sichtbar wird. Die Erscheinung ist für alle Beobachter gleich, nur die Zeit ist verschieden; für Berlin findet der Vollmond Abends 11 Uhr 29 Minuten statt, der Anfang der Finsterniß 9^h 38^m, eine Stunde später ist die Finsterniß total, und 18 Minuten nach Mitternacht tritt er wieder aus dem Erdschatten, eine Stunde später hört die Verfinsterung auf. Alle diese Erscheinungen treten an andern Orten um so viel Minuten früher oder später ein, als sie Viertelsgrade westlich oder östlich von Berlin liegen. Tritt der Mond nicht ganz in den Erdschatten, so heißt die Finsterniß eine partiale. Die Größe einer solchen wird in Zollen angegeben, eine sonderbare Bezeichnungsweise, die jedoch immer noch gebräuchlich ist: man denkt sich den Durchmesser des Monds in 12 Theile getheilt und gibt an, wie viel von diesen Theilen, die man Zolle nennt, auf demjenigen Durch-

messer des Monds verfinstert sind, welcher bei der größten Verfinsterung durch den Mittelpunkt des Erdschattens geht.

Die andere Methode, die geographische Länge zu bestimmen, beruht auf der Beobachtung der Lage des Monds in Beziehung auf die Fixsterne. Man bestimmt z. B. zu Schiff mit dem Sextanten den Abstand des Mondmittelpunkts von einem hellen Fixstern — die sogenannten Mondsdistanzen — oder die Zeit, zu welcher hinter dem Mondrand ein Fixstern verschwindet — Sternbedeckungen — oder, wenn man ein fest aufgestelltes Fernrohr benützen kann, die Zeit, zu welcher der Mond und einige Fixsterne vor und nach ihm culminiren — die sogenannten Mondsculminationen. Alle diese Beobachtungen kommen im Wesentlichen auf dasselbe hinaus, auf die Bestimmung der scheinbaren Entfernung des Monds von einem Fixstern, direct gemessen bei den Mondsdistanzen, unmittelbar beobachtet bei den Sternbedeckungen, und aus der Durchgangszeit durch den Meridian berechnet bei den Mondsculminationen. Da die Linie von einem Beobachter zum Mondmittelpunkt beständig wechselt, wenn der Standpunkt sich ändert, und zwar merklich wechselt, weil der Mond verhältnißmäßig sehr nahe ist, so muß jeder Beobachter auf der Erde den Mond unter den Fixsternen anders liegen sehen, als jeder andere; und es ist — allerdings auf nicht ganz einfache Weise — möglich, von der Verschiedenheit der Lage des Monds zurückzuschließen auf die des Beobachters. Im nautical almanac ist von drei zu drei Stunden angegeben, wo der Mond von dem Erdmittelpunkt aus gesehen erscheint; der Beobachter aber kann aus

seinen Beobachtungen schließen, wo er im gleichen Moment von dem Erdmittelpunkt aus gesehen erscheinen würde und darnach die Greenwicher Zeit dieses Moments bestimmen.

Zu diesen Beobachtungen kann man auch die einer Sonnenbedeckung rechnen, da sie offenbar ganz auf gleicher Stufe mit den Sternbedeckungen steht, nur wird sie nicht leicht zur Bestimmung der Länge verwendet, dient vielmehr, wie sich später ergeben wird, hauptsächlich als Controle für die Kenntniß der Mondsbewegungen. Die Sonnenbedeckungen sind viel häufiger als die Mondsfinsternisse, in 19 Jahren erfolgen etwa 40, aber da sie für jeden Erdort verschieden sind, und da der Schatten des Monds in der Nähe der Erdoberfläche sein Ende erreicht, so sind sie für einen gegebenen Ort viel seltener als die Mondsfinsternisse, im Mittel nur alle zwei Jahre zu sehen. Sie sind viel complicirter zu berechnen, weil die Erscheinung für jeden Ort anders ist und eine vollständige Berechnung natürlich alle Orte, wo sie überhaupt gesehen wird, umfassen sollte.

Der Schatten, welchen der Mond wirft, reicht bis in die Gegend der Erdoberfläche, die Spitze des Schattenraums fällt bald diesseits, bald jenseits derselben, da die Entfernungen von Sonne, Mond und Erde beständig wechseln. Für die mittlern Entfernungen würde der Schatten die Erde nicht erreichen, sondern etwa 900 Meilen über derselben abschließen. Man hätte in diesem Falle nirgends eine totale Bedeckung, da diese offenbar nur für den stattfindet, der in dem Schattenraume selbst sich befindet; dagegen wird für bestimmte Gegenden eine ringförmige Bedeckung stattfinden, bei welcher rings um den

Mond noch ein heller Streifen der Sonnenscheibe unbedeckt übrig bleibt. Insbesondere wird für den Beobachter, welcher sich auf der Verbindungslinie von Sonnen- und Mondmittelpunkt befindet, die Bedeckung eine regelmäßig ringförmige, d. h. der freigelassene Ring überall gleich breit sein. Wenn die Erde am weitesten von der Sonne entfernt ist, also in unserm Juni, so erscheint uns der Sonnendurchmesser unter einem Winkel von 31½ Minuten, im December dagegen, wo sie uns am nächsten ist, unter dem Winkel von 32½ Minuten, also beiläufig um $1/_{30}$ breiter, ein Unterschied, der der Schätzung des Auges entgeht, um so mehr, da vom Juni zum December ganz allmählich eine Zunahme stattfindet. Größer und rascher sind die Wechsel beim Mond, sein Durchmesser wechselt von 29½ bis 33½ Minuten, also um $1/_7$, und dies im Laufe von 14 Tagen, so daß die Aenderung möglicherweise schon dem bloßen Auge auffallen kann. Ist die Mondscheibe scheinbar größer als die Sonnenscheibe, was bei der kleinsten Entfernung des Monds von der Erde immer der Fall ist, so kann sie die ganze Sonnenscheibe bedecken, es kann eine totale, vollständige Bedeckung eintreten; ist sie dagegen kleiner, was stets bei der größten Entfernung des Monds von der Erde statt hat, so kann sie nie die ganze Sonnenscheibe bedecken; selbst für einen Beobachter, welcher auf der Verbindungslinie des Sonn- und Mondmittelpunkts sich befindet, ist sie nur eine ringförmige.

Die ringförmigen Bedeckungen sind im Allgemeinen häufiger, da der mittlere Werth des Sonnendurchmessers 32 Minuten, der mittlere des Monddurchmessers nur 31½ Minuten beträgt, unter mittlern Verhältnissen also

die Mondscheibe kleiner ist als die Sonnenscheibe. Die größte ringförmige Bedeckung tritt ein, wenn der Mond den kleinsten, die Sonne den größten Durchmesser hat, d. h. wenn im December in der Erdferne des Monds eine Bedeckung stattfindet, die Breite des Rings beträgt dann etwa 1½ Minuten oder den 20sten Theil des Durchmessers der ganzen Scheibe. Die ausgeprägteste totale Bedeckung fällt dagegen in den Juni, wenn zugleich der Mond in der Erdnähe ist; der Mond kann dann nach allen Seiten hin 1 Minute über die Sonnenscheibe übergreifen. Man sieht, wie mannigfaltig hier die Verhältnisse im Gegensatz zu den Mondsfinsternissen sind, und die Ursache ist vor Allem, daß bei den letztern der Mond an einer Stelle in den Erdschatten tritt, wo dessen Durchmesser immer beträchtlich größer, im Mittel 2⅔ mal so groß ist, als der der Mondscheibe.

In der Figur 43 stellt der größte Kreis die Sonne, der kleinste den Mond vor, es sind zunächst zwei Linien ausgezogen, welche Sonne und Mond auf derselben Seite berühren, so daß hinter dem Mond ein kleiner Raum entsteht, der mit (1.) bezeichnet ist. Was die Figur zeigt, hat man sich im Raum zu denken, die Figur ist nur ein Durchschnitt des Kegels, der zugleich um Sonne und Mond gelegt ist: gerade so als hätten wir eine Papierdüte gedreht und in dieselbe zuerst eine kleinere, dann eine größere Kugel fallen lassen, die sich der Düte ringsum anschmiegen. Die Fläche, in welche das Papier umgebogen ist, nennt der Mathematiker Kegelfläche und den innern Raum einen Kegel, den Umriß eines solchen Kegels sollen also die zwei Linien darstellen. Der mit (1.) be-

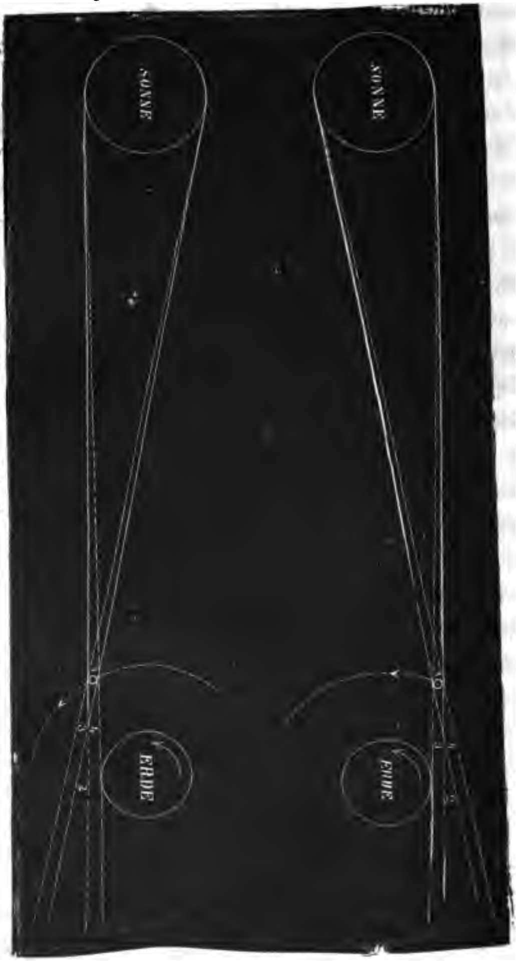


Fig. 43.

zeichnete Theil des Kegels erhält offenbar gar kein Licht von der Sonne, wer sich in ihm befindet, hat eine totale

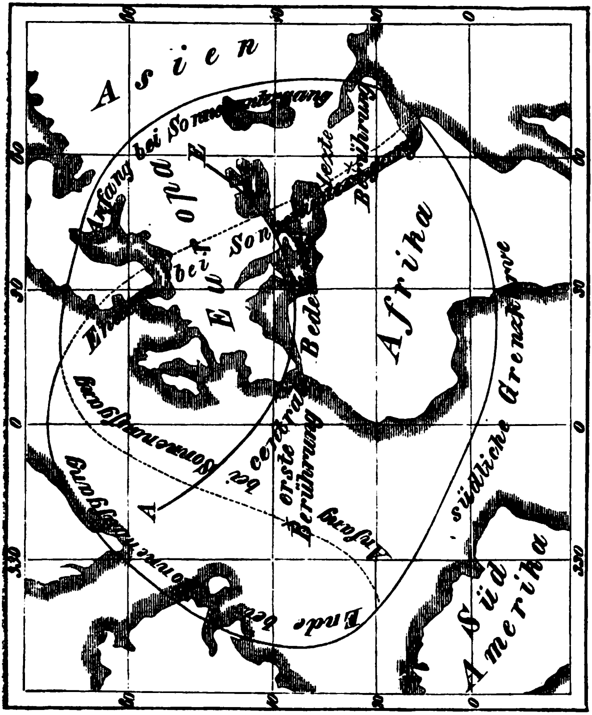
Sonnenbedeckung. Denkt man sich die Kegelfläche über die Spitze hinaus fortgesetzt, d. h. eine zweite Kegelfläche mit gleicher Spitze in entgegengesetzter Richtung angesetzt, so erhält man den Raum (2.): ein Beobachter, der sich in ihm befindet, sieht den größten Theil der Sonnenscheibe bedeckt, aber ringsum noch einen Theil frei, d. h. er hat eine ringförmige Bedeckung. Die Entscheidung, ob eine Sonnenbedeckung total oder nur ringförmig sein wird, hängt also einfach davon ab, ob die gemeinschaftliche Spitze beider Kegel unter- oder oberhalb der Erdoberfläche fällt. Dringt die Spitze in die Erde ein, so gibt es immer Punkte auf der Erde, welche in den Raum (1.) fallen, also eine vollständige Bedeckung sehen, bleibt aber die Spitze außerhalb, während der äußere Kegel die Erde trifft, so werden bestimmte Theile der Erdoberfläche in den Raum (2.) eintreten und eine ringförmige Bedeckung sehen. Je weiter der Mond von der Sonne absteht, desto weiter liegt auch die Spitze des Schattenkegels vom Mond ab, es kann dieser Abstand zwischen 49000 und 51000 Meilen schwanken, und da die Entfernung des Monds von dem Erdmittelpunkt zwischen 55000 und 49000 Meilen schwankt, so sieht man, daß sehr verschiedene Lagen der Kegelspitze in Beziehung auf den nächstliegenden Theil der Erdoberfläche vorkommen können. Die äußersten Fälle sind, daß die Spitze 5000 Meilen diesseits und 3000 Meilen jenseits des nächsten Theils der Erdoberfläche zu liegen kommt; der erste Fall gibt die am meisten ausgesprochene ringförmige, der zweite die größte, am längsten dauernde vollständige Bedeckung.

Da der Schattenkegel in eine sehr scharfe Spitze aus-

läuft, und seine ganze Länge mehr als das Hundertfache des Durchmessers der Grundfläche beträgt, so ist der Theil, welcher in die Erdoberfläche eindringt, sehr schmal, hat eine Ausdehnung von höchstens 40 Meilen. Dieser verfinsterte Theil der Erdoberfläche rückt wegen der Bewegung des Monds und der Umdrehung der Erde über diese hin und verbreitet sich so allmählich über eine Zone von höchstens 40 Meilen Breite, in welcher eine vollständige oder eine ringförmige Bedeckung beobachtet wird. Denken wir uns die Erde fest, so hat die Sonne eine scheinbare, der Mond eine wirkliche Bewegung um die Erde; die letzte ist etwa 12 mal so rasch als die der Sonne, da der Mond in einem Monat, die Sonne in einem Jahr einen Umlauf unter den Firsternen vollendet. Die Verschiebung des Schattens rührt also hauptsächlich von der Bewegung des Mondes her und beträgt im Mittel in der Nähe der Erde etwa $^1/_8$ Meile. Da sich aber die Erde um ihre Are dreht, so bewegt sich ein Ort auf ihrer Oberfläche in gleichem Sinn wie der Schatten, freilich mit kleinerer Geschwindigkeit, da diese am Aequator, wo sie am größten ist, nur $^1/_{16}$ Meile beträgt. Es wird also der Schatten von West nach Ost im Sinn der Arendrehung der Erde über ihre Oberfläche hinstreichen.

Wenn der Schattenkegel die Erdoberfläche berührt, so beginnt die vollständige oder ringförmige Bedeckung auf der Erde, auf der Seite nach welcher hin sich die Erde in ihrer Bahn um die Sonne bewegt, also (vergl. S. 94) an einem Ort, für welchen die Sonne eben aufgeht. Der Schatten geht über die Erdoberfläche hin und verläßt sie schließlich auf der Seite, von welcher sich die Erde auf

ihrer Bahn entfernt, also an einem Ort, welcher Sonnenuntergang hat. Die schmale Zone, wo die vollständige Bedeckung am 22. December 1870 und am 11. December 1871 stattfindet, ist auf den kleinen Karten (Figur 44 und 45) durch die Linie angedeutet, welche an dem Buch-



Totale Sonnenbedeckung 1870. Dec. 22.

Fig 44.

staben A beginnt und an dem Buchstaben E aufhört. Sie geht in der ersten Figur durch den atlantischen Ocean und Süd-Europa, in der zweiten durch das Ostindische Meer über die Nordspitze von Australien in den großen

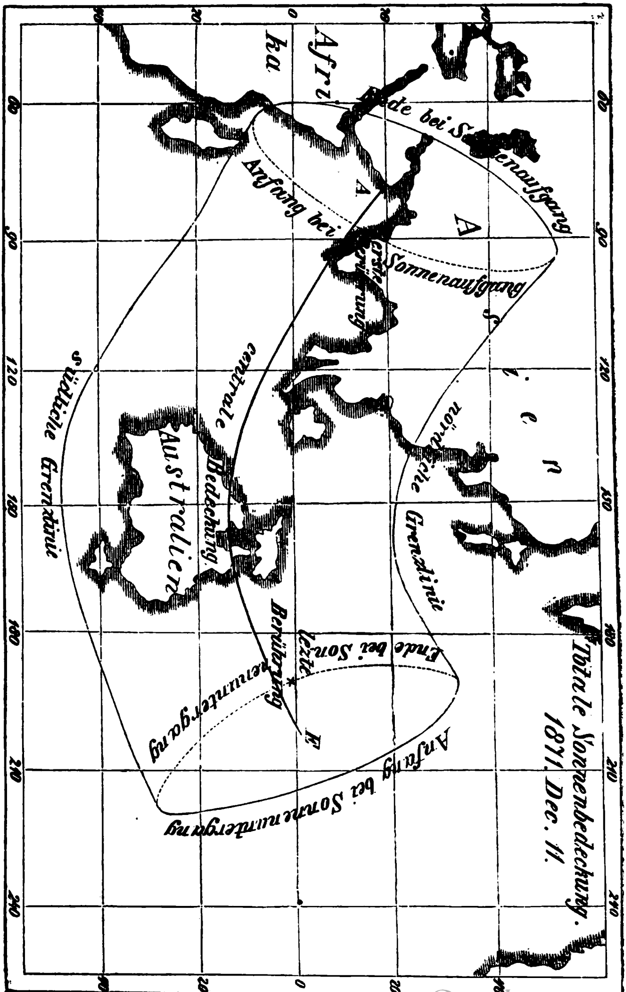

Totale Sonnenbedeckung. 1871. Dec. 11.
Afrika
Asien
Australien
Ende bei Sonnenaufgang
Anfang bei Sonnenaufgang
Erste Berührung
centrale Bedeckung
nördliche Grenzlinie
südliche Grenzlinie
Ende bei Sonnenuntergang
Letzte Berührung
Anfang bei Sonnenuntergang

Fig. 45.

Ocean. Die Mitte der Zone enthält die Orte, welche im Verlauf der Bedeckung einen Moment auf der Verbindungslinie vom Sonnen- und Mondmittelpunkt liegen oder die centrale Bedeckung sehen, d. h. für welche einen Moment lang die Mittelpunkte der Sonnen- und Mondscheibe zusammenzufallen scheinen.

Entfernt man sich von der Zone der vollständigen oder ringförmigen Bedeckung nach der einen oder andern Seite, so kann man immer noch eine theilweise Bedeckung beobachten, so lange man sich in dem Halbschatten des Monds befindet.*) In der Figur 43 (S. 258) ist durch gestrichelte Linien ein zweiter Kegel angedeutet, welcher sich Sonne und Mond anschmiegt; seine Spitze liegt zwischen diesen zwei Himmelskörpern und daher breitet er sich hinter dem Mond weiter aus, als der innere Kernschatten. Zwei Partien desselben, die außerhalb des Kernschattens fallen, sind in der Figur mit (3.) und (4.) bezeichnet. Man sieht leicht, daß ein Beobachter, der in diese Räume kommt, die Sonne theilweise durch den Mond bedeckt sieht, desto mehr, je näher er dem eigentlichen Schattenkegel kommt, desto weniger, je näher er der äußern Grenze beider Räume ist. Die gleiche Figur zeigt im ersten Bild, daß die Bedeckung überhaupt beginnt, indem die Erde in den Halbschatten eintritt: der Ort, wo dies geschieht, ist der erste, der von der Bedeckung etwas sieht, für ihn geht in diesem Augenblick die Sonne auf, er ist auf den Kärtchen als Ort „erster Berührung" bezeichnet. Nach diesem ersten Anfang treten eine ganze Reihe weiterer Orte in den

*) vergl. Pisko, Licht und Farbe. S. 15.

Halbschatten ein, für sie alle geht zugleich die Sonne auf, sie liegen auf der gestrichelten Linie, neben welcher „Anfang bei Sonnenaufgang" steht. Jetzt erfolgt die Berührung mit dem eigentlichen Schattenkegel, offenbar an einem westlicher gelegenen Punkt A, weil sich die Erde seitdem von West nach Ost gedreht hat. Nach einiger Zeit ist die Erde ganz in den Raum (4.) (Figur 45, S. 262) eingetreten und beginnt nun ihren Austritt: die austretenden Orte haben wieder in diesem Augenblick Sonnenaufgang, also Ende der Bedeckung bei Sonnenaufgang, d. h. sie sehen von der Bedeckung nichts mehr. Noch weniger werden die weiter westlich gelegenen Orte etwas sehen, weil ihnen die Sonne noch gar nicht aufgegangen ist und der ganze Schatten jetzt mit einer Geschwindigkeit über die Erde hineilt, die größer ist als die der Erddrehung; sie liegen also auf der westlichen Grenzlinie der Bedeckung, die mit „Ende bei Sonnenaufgang" bezeichnet ist. Nun bewegen sich die zwei Schatten, der Kernschatten in der Mitte, über die Erde hin, der Kernschatten beschreibt die vorher genannte Zone, der Halbschatten eine breitere Zone, welche nach Norden und Süden von den Orten begrenzt ist, welche eben noch Berührung der Mond- und Sonnenscheibe haben, aber keine Bedeckung sehen, sie bilden die nördliche und südliche Grenzcurve. Wenn dann der Austritt beginnt, so geschieht dies zunächst für Orte, die im Augenblick vorher noch nicht im Halbschattenkegel waren (vergl. Figur 43), die zugleich mit dem Anfang der Finsterniß Sonnenuntergang haben, sie sehen also nichts mehr von der Bedeckung und liegen auf der Grenzlinie „Anfang bei Sonnenuntergang"; östlich von ihnen

ist die Sonne schon untergegangen, also von der Bedeckung überhaupt nichts mehr zu sehen. Während das Austreten des Schattenkegels weiter geht, dreht sich die Erde von West nach Ost, so daß das Aufhören der vollständigen Bedeckung weiter westlich bei E und das Aufhören der Bedeckung überhaupt an noch westlichern Orten auf der Grenzlinie „Ende bei Sonnenuntergang" und auf dieser schließlich das Ende überhaupt in dem mit „letzte Berührung" bezeichneten Punkte stattfindet.

Die Bedeckung vom 11. December 1871 (Fig. 45) hat diesen regelmäßigen Verlauf, weil der Kernschatten und Halbschatten ganz von der Erde aufgefangen wird. Ist das nicht der Fall, so kann z. B. ein Theil des Halbschattens außerhalb der Erde vorübergehen, dann fehlt die nördliche oder südliche Grenzcurve, die erste z. B. bei der Bedeckung vom 22. December 1870, oder kann auch der Kernschatten außerhalb vorbeigehen, die Bedeckung ist überall eine theilweise, außer der nördlichen oder südlichen Grenzcurve fällt auch die Zone der vollständigen oder ringförmigen Bedeckung weg.

Hat man den Verlauf einer Sonnenbedeckung in dieser Art auf einer Karte festgestellt, so kann man für jeden Ort der Erde ungefähr angeben, was an demselben zu sehen sein wird; handelt es sich dagegen um genauere Bestimmung, so ist noch für den betreffenden Ort eine besondere Rechnung auszuführen. In ganz ähnlicher Weise läßt sich die Bedeckung eines Sterns durch den Mond betrachten, nur wird hier die ganze Rechnung viel einfacher, da der Stern nur ein Punkt ist, der während der Zeit der Bedeckung als unbeweglich betrachtet werden

kann. Solche Bedeckungen haben besonderes Interesse in so fern, als sie die Richtigkeit der vorausgesagten Bewegung des Monds controliren, da schon die kleinste Unrichtigkeit einen merkbaren Zeitunterschied zwischen dem berechneten und dem beobachteten Verschwinden hinter dem Mond zur Folge hat. Die Beobachtung von Sonnenbedeckungen kann insbesondere noch zeigen, ob die gegenseitigen Entfernungen von Sonne, Mond und Erde richtig sind, da eine kleine Aenderung derselben schon eine beträchtliche Verschiebung des so spitzen Schattenkegels verursachen.

Alle bisher beschriebenen Methoden und Möglichkeiten, die Längenunterschiede zu bestimmen, genügen heutzutage nicht mehr, sie lassen auch bei der sorgfältigsten Ausführung Theile von Secunden kaum bestimmen. Der Telegraph hat das Mittel an die Hand gegeben, noch bis auf Hundertel einer Secunde einen Längenunterschied festzusetzen. Wenn ein mit dem Telegraphen gegebenes Zeichen in demselben Augenblick, in welchem es gegeben wird, auch ankäme, so hätte man das einfachste Mittel der Längenbestimmung: man dürfte nur von einem Ort zum andern die Ortszeit telegraphiren. Wenn es sich jedoch um Theile von Secunden handelt, so ist zu berücksichtigen, daß erstens der galvanische Strom eine bestimmte Zeit in der Drahtleitung braucht, daß ferner einige Zeit erforderlich ist, bis der Elektromagnet magnetisch wird und daß endlich auch der Anker nicht momentan angezogen wird, um das nöthige Signal zu geben. Eine directe Bestimmung der Zeit, die vom Augenblick des Zeichengebens bis zu dem des Zeichenerscheinens vergeht, ist bis

jetzt nicht möglich; man muß also die Zeichengebung so einrichten, daß diese Bestimmung unnöthig wird.

Dies geschieht, indem man nicht blos von einem Ort zum andern, sondern auch wieder rückwärts vom zweiten zum ersten telegraphirt. Der erste Ort liege östlicher, die von ihm telegraphirte Zeit ist also voraus gegen die Zeit des zweiten Orts, das Zeichen langt etwas später an als es gegeben wird, also zu einer Zeit, wo die Uhr schon wieder etwas weiter gekommen ist, so daß der Unterschied der signalisirten und der Zeit des Orts, wohin telegraphirt wurde, um die Zeitdauer der Uebertragung kleiner ist, als der wirkliche Unterschied der Zeiten beider Orte. Jetzt telegraphirt der zweite Ort, die signalisirte Zeit ist zurück gegen die Zeit des ersten Orts, und da während der Signalisirung die Uhr des ersten Orts noch weiter vorgeht, so ist der Unterschied der signalisirten und der Zeit des ersten Orts um die Zeitdauer der Uebertragung größer, als der wirkliche Zeitunterschied beider Orte. Der eine beobachtete Unterschied ist also zu klein, der andere um eben so viel zu groß, das Mittel beider gibt den richtigen Zeitunterschied.

Nur könnte man noch zweifeln, ob die Uebertragungszeit beidemal die gleiche ist; die Drahtleitung ist allerdings die gleiche, aber die Apparate an beiden Orten sind, wenn auch gleich construirt, doch verschiedene Individuen, das Eisen, die Drahtwindungen um das Eisen, der Abstand des Ankers vom Elektromagnet u. s. w. können verschieden sein; will man auch den dadurch entstehenden Fehler vermeiden, so vertauscht man die Apparate gegenseitig und macht neue Beobachtungen. Doch bleibt dann bei diesen

minutiösen Messungen immer noch ein Fehler. Wenn zwei Personen denselben Schall hören, so kommt er nicht beiden zu genau gleicher Zeit zum Bewußtsein, selbst dann nicht, wenn ihr Ohr von der Schallquelle gleich weit entfernt ist, oder wenn zwei Personen dasselbe Ereigniß mit dem Auge beobachten, so wird doch der Moment des Eintretens der Ereignisse verschieden aufgefaßt. Man kann dies auf sehr verschiedene Weise nachweisen, wenn man an eine Person die Aufgabe stellt, im Augenblick des Ertönens einer Glocke oder des Beginns einer Bewegung, einen bestimmten Willensact auszuführen, z. B. einen Taster nieder zu drücken. Man kann beispielsweise eine rasch ablaufende Uhr, welche noch hundertel Secunden markirt, vermittelst des galvanischen Stroms in Gang setzen, in dem Moment, in welchem durch denselben Druck der Hand mit einem andern galvanischen Strom eine Glocke zum Tönen gebracht wird. Wird auf dieses Signal hin der Taster niedergedrückt, so wird die Uhr durch den galvanischen Strom wieder zum Stehen gebracht. Die Uhr gibt also die Zeit vom Ertönen der Glocke bis zur Ausführung des Niederdrückens des Tasters, oder wenn man das Auge statt des Ohrs benützt, die Zeit vom Sehen der beginnenden Bewegung des Uhrzeigers bis zur Ausführung des Niederdrückens des Tasters. Man findet, daß verschiedene Personen um mehrere Zehntel einer Secunde in Auffassung und Ausführung eines Befehls sich unterscheiden und daß bei derselben Person die Auffassung mit dem Ohr eine andere ist als die mit dem Auge. Man hat dieser Erscheinung in der Astronomie den Namen „persönliche Gleichung" gegeben; sie

wird in Theilen einer Secunde mit dem Beisatz angegeben, welcher Beobachter früher oder später auffaßt. Will man auch diese persönliche Gleichung wegbringen, so müssen die Beobachter, so gut wie die Instrumente, vertauscht werden, denn auch bei der telegraphischen Längenbestimmung handelt es sich ja darum, den Moment des Schlags eines Secundenpendels oder des Durchgangs eines Sterns in einem Fernrohr durch Niederdrücken eines Tasters zu signalisiren.

Man denke sich z. B. einen gewöhnlichen Morse'schen Telegraphenapparat mit ablaufendem Papierstreifen, auf welchem der Stift des Schreibhebels Eindrücke macht. Um ein gleichmäßiges Ablaufen zu bewirken, ersetzt man den regulirenden Windflügel durch ein Centrifugalpendel, und neben dem ersten Schreibhebel sei ein zweiter angebracht, dessen Eindrücke auf denselben Papierstreifen möglichst nahe denen des ersten fallen. Der eine Hebel wird durch die Normaluhr alle Secunden in Gang gesetzt, die Normaluhr schließt jede Secunde einen galvanischen Strom, welcher den Stift gegen das ablaufende Papier preßt, und man erhält so eine Reihe gleichweit auseinander liegender Secundenpunkte. Der zweite Hebel wird durch einen andern galvanischen Strom in Bewegung gesetzt, so oft ein Taster mit der Hand niedergedrückt wird, und aus der Lage des erhaltenen Punkts in Beziehung auf die Secundenpunkte ergibt sich die Zeit des Eindrucks. So wird z. B. der Durchgang eines Sterns an einem Faden markirt, indem man in dem Augenblick des Durchgangs den Taster niederdrückt. Denkt man sich dieselbe Einrichtung an einer zweiten Station, so läßt sich mit der Telegraphen-

leitung leicht die Einrichtung treffen, daß beim Niederdrücken des Tasters nicht blos an der eigenen Station, sondern auch an der zweiten der Durchgang des Sterns registrirt wird. Der Unterschied der Ablesungen mit Rücksicht auf den Stand der Uhr an der ersten und zweiten Station gibt den Längenunterschied, abgesehen noch von der Zeitdauer des Telegraphirens und der persönlichen Gleichung, die durch Vertauschung der Apparate und Beobachter und durch gegenseitiges Telegraphiren weggeschafft werden. Durch solche Mittel ist es gelungen, Längenunterschiede noch auf 1/60 Secunde zu bestimmen, oder auf eine Länge von wenigen Fußen, so daß, wenn das Beobachtungsinstrument, welches zur Bestimmung der Zeit dient, nur etwas weiter östlich oder westlich aufgestellt wird, schon ein Unterschied in der Länge beobachtet werden kann.

---

4. Zeitrechnung und Kalender.

Jahr, Monat und Tag sind die drei Zeitabschnitte, nach denen wir das Geschehene oder noch zu Geschehende registriren. Der Tag als Zeit der Umdrehung der Erde um ihre Axe, womit die Abwechslung von Tag und Nacht verbunden ist, ist ein im bürgerlichen Leben so scharf ausgeprägter, unmittelbar den Sinnen sich aufdringender Abschnitt, daß er nothwendig überall und in gleicher Weise zur Zeitrechnung diente; der Monat als Zeit von einem Vollmond zum andern oder von einem Neumond zum andern war schon seiner Dauer nach schwieriger festzu-

stellen, um so mehr, da er nicht in ganzen Tagen aufging, so daß, wenn man ganz nach Mondmonaten rechnen wollte, wenn z. B. der Neumond immer auf denselben Tag des Monats fallen sollte, die Zahl der Tage eines Monats verschieden genommen werden mußte. So sollen ursprünglich die römischen Kalendae durch das erste Erscheinen der Mondsichel in der Abenddämmerung festgestellt worden sein: war die Mondsichel Abends beobachtet worden, so begannen mit der nächsten Mitternacht die Kalendae, d. h. der Anfang eines neuen Monats. Da die Sichtbarkeit der Mondsichel wesentlich von der Stellung des Monds und von der Heiterkeit der Atmosphäre abhängt, so mußten darnach die Monate sehr veränderlich sein. Noch schwieriger war die Bestimmung der Jahreslänge, die sich nach dem scheinbaren Umlauf der Sonne um die Erde richtet; ein begangener Fehler konnte erst nach einer größern Zahl von Jahren sich bemerklich machen, wenn ein bestimmtes Datum nicht mehr in dieselbe Jahreszeit fiel, wenn der Ackerbauer Feldgeschäfte in einem Monat ausführte, auf welchen früher ganz andere gefallen waren. Noch bis auf den heutigen Tag dauert ja unter civilisirten Völkern die verschiedene Rechnung der Jahreslänge fort.

Wollte man Tag, Monat und Jahr in einige Uebereinstimmung bringen, so war immer eine mehr oder weniger willkührliche Abänderung der Dauer der zwei letzten nöthig, da sie natürlich nur ganze Tage umfassen konnten, und um gleiche Jahreszeiten bei gleichem Datum zu erhalten, war ein Einschalten von Tagen oder Monaten unumgänglich. Außer der Dauer der einzelnen Zeitabschnitte war dann noch, insbesondere beim Jahr, der

Anfang jedes Abschnitts und schließlich der Anfangspunkt der ganzen Zeitrechnung festzustellen. Alle diese Dinge, an die uns jedes Datum, das wir schreiben, erinnert, müssen wir uns klar zu machen suchen, und wenn eine vollständige Erklärung nicht möglich ist, wenigstens bis auf ihren Ursprung verfolgen.

Die Bezeichnung eines Jahrs, wie sie bei den Römern gebräuchlich war, nach den Namen der Consuln, welche in demselben ihr Amt führten, dauerte in der römischen Kaiserzeit fort. Erst im 6. Jahrhundert regte der römische Abt Dionysius Exiguus, der auch, wie wir später sehen werden, in Sachen der Osterbestimmung den Ton angab, die Zählung der Jahre von der „Fleischwerdung Christi" an, und bald wurde diese Zählung von Christi Geburt an in der christlichen Welt allgemein. Freilich ist nicht daran zu denken, daß zugleich das Geburtsjahr Christi sicher festgestellt wurde; Dionysius setzte die Geburt Christi nach seinem besten Wissen in das Jahr 754 der Stadt Rom, während Zeugnisse von Kirchenvätern für das Jahr 752, geschichtliche und astronomische Untersuchungen für 749 oder gar in der neuesten Zeit für 747 entscheiden. Für die Zeitrechnung an sich haben diese Untersuchungen keine Bedeutung, es wird Niemand daran denken, unsere Jahrzählung abzuändern, damit wirklich das richtige Geburtsjahr Christi Anfangspunkt derselben sei; wir bleiben also bei dem von Dionysius angenommenen Anfang. Was ferner den Geburtstag betrifft, so bezeichnete man schon vor Dionysius allgemein in der lateinischen Kirche den 25. December als solchen, und darnach scheint nun alles geregelt zu sein.

Es kann keinem Zweifel unterliegen und Niemand wird dagegen Widerspruch erheben, daß 8 Tage nach Geburt Christi, am 1. Januar des folgenden Jahres das erste Jahr nach Christi Geburt begann, ein Jahr später das zweite u. s. w. Aber wie soll man nun schreiben für den Anfang des ersten Jahres? 1. Januar Null oder 1. Januar Eins nach Christus? Geschrieben hat es damals natürlich Niemand und insofern könnte es als müssige Frage erscheinen, aber es ist wohl zu bedenken, daß von dieser Frage auch die Bedeutung unseres heutigen Datums abhängt. Sprachgebrauch ist es, zu sagen, wir leben im 19. Jahrhundert, d. h. es sind 18 Jahrhunderte und eine Anzahl Jahre verflossen seit Anfang unserer Zeitrechnung, derselbe Gebrauch ist es, wenn man sagt: ich stehe im 30sten Lebensjahre, d. h. ich bin 29 Jahre und eine Anzahl weiterer Monate oder Tage alt. Die Ordnungszahl ist hiebei immer um eine Einheit voraus, und es ist diese Bezeichnung mathematisch vollkommen gerechtfertigt. Ganz willkührlich dagegen ist die Abweichung von diesem richtigen Sprachgebrauche bei den Chronologen und Historikern und rührt wohl daher, daß früher immer das Jahr mit der Ordnungszahl bezeichnet wurde: sie machen keinen Unterschied zwischen Ordnungszahl und gewöhnlicher Zahl, das 754ste Jahr der Stadt Rom ist ihnen das Jahr 754, das erste nach Christi Geburt ist das Jahr Eins, und somit das Jahr 1870 das 1870ste nach Christi Geburt. Schreibe ich 1. Januar 1870, so sind nicht 1870 Jahre seit dem auf die angenommene Geburt Christi folgenden 1. Januar verflossen, sondern erst 1869. Handelt es sich um ein Zurückrechnen nach astronomischen Daten, z. B.

um zu finden, wann eine Mondsfinsterniß oder Sonnenbedeckung stattgefunden hat, so ist es von großem Interesse, über diese einmal angenommene Zählungsart im Reinen zu sein.

Wann hat unser Jahrhundert angefangen? am 1. Januar 1800 oder am 1. Januar 1801? Ein Jahrhundert ist verflossen, wenn 100 Jahre oder ein Vielfaches von 100 Jahren vorüber sind; ist der 1. Januar nach Geburt Christi Anfang des Jahres 1, so sind am 1. Januar 1800 noch keine 18 Jahrhunderte seit Christi Geburt verflossen, man muß also historisch den 1. Januar 1801 als Anfang des Jahrhunderts bezeichnen, den Tag, an welchem der erste Planetoid entdeckt wurde, aber nur deswegen, weil Ordnungs- und gewöhnliche Zahl nicht getrennt gehalten wird. Ganz inconsequent ist die Rechnung der Historiker besonders deswegen, weil der Unterschied beider Zahlen bei den Jahrzehnten und Jahrhunderten beibehalten wird: unter dem 16 ten Jahrhundert versteht auch der Historiker das Datum 1500 nebst einer weitern Zahl von Jahren. Sagt man, am 1. Januar nach Christi Geburt beginnt das erste Jahr, so beginnt auch das erste Jahrzehnt, das erste Jahrhundert, und mit gleichem Recht, mit welchem 1. Januar Eins geschrieben wird, könnte man auch 1. Januar 11 oder 1. Januar 111 u. s. w. schreiben. Es ist jedoch klar, daß auch hier der Gebrauch für immer die Oberhand über den Verstand behalten wird, und wir müssen daher es geduldig hinnehmen, daß die Angst vor der Null die Verwechslung von Ordnungs- und gewöhnlicher Zahl mit sich führte.

Ungeduldiger könnte man freilich schon werden, wenn nun auch das Jahr, in welchem Christus geboren ist, als Jahr Eins vor Christus bezeichnet wird; kann man schon an „erstes Jahr vor Christus“ Bedenken bekommen, da ja Christus innerhalb dieses Jahres geboren ist. Hier konnten die Astronomen nicht mehr folgen, sie mußten sich von den Chronologen und Historikern emancipiren, und nannten dieses Jahr das Jahr Null, und das vorhergehende, das Jahr (— 1) oder 1 vor Christus. Damit war wenigstens der Vortheil erreicht, daß eine einfache Rechnung zur Bestimmung verflossener Jahre möglich gemacht wurde. Wenn ein Ereigniß am 1. Januar 50 vor Christus stattfand, wie weit ist es von da bis zum 1. Januar 1870? nach der Bezeichnungsweise der Chronologen 1919 Jahre: d. h. man hat 1870 und 50 zu addiren und dann Eins abzuziehen. Die Astronomen sagen dagegen 1. Januar 49 vor Christus und stellen daher als Regel auf, die Jahreszahlen vor und nach Christus einfach zu addiren, wenn man die Zahl der verflossenen Jahre haben will.

Der Anfang des Jahrs wurde nach dem Vorgang der Römer auch in der christlichen Kirche auf den 1. Januar gesetzt, doch tauchten bald Bedenken auf, ob man nicht, da die christliche Aera mit der „Fleischwerdung Christi“ begann, auch für den Tag des Jahresanfangs ein Fest wählen solle, welches in näherer Beziehung zu der Fleischwerdung stehe, sei es der 25. December als Geburtstag Christi, sei es der 25. März als der Tag der Verkündigung oder Empfängniß Mariä, sei es der Tag der Auferstehung. Alle diese Feste wurden als würdig erachtet,

den Anfang des Jahrs zu bilden. In Pisa z. B. wurde das Jahr mit dem 25. März angefangen, und zwar dasjenige Jahr, welches sonst mit dem folgenden 1. Januar begonnen wurde, so daß der December eines Jahres vor den Januar desselben Jahres fiel. Nur so läßt es sich erklären, daß eine Bulle des Pabstes Gelasius II., der am 29. Januar 1119 starb, vom 20. December 1119 datirt ist: die Pisaner Zählung setzte diesen December schon in das Jahr 1119, während er von dem gewöhnlichen Kalender noch dem Jahr 1118 zugerechnet wird. Die Florentiner waren ganz mit den Pisanern darin einverstanden, daß man den Anfang des Jahres auf den 25. März setze, aber sie hielten es für verständiger, mit dem 25. März erst dasjenige Jahr zu beginnen, welches die Pisaner am vorausgehenden 25. März angetreten hatten, so daß sie gegen die Pisaner immer um ein Jahr zurück waren. Wenn Pius IV. die Beschlüsse des 1563 im December geendigten Tridentiner Conciliums in einer Bulle vom 26. Januar 1563 bestätigt, so könnte man vielleicht heutzutage glauben, er habe vorausgewußt, was das Concil beschließen werde, dem war aber nicht so, er rechnete nur nach Florentiner Weise, so daß für ihn der Januar nach dem December desselben Jahres fiel. Wer sollte es heute noch für möglich halten, daß diese Rechnungsweise der zwei benachbarten Städte erst im Jahre 1749 von Großherzog Franz I. abgeschafft wurde? In Frankreich besonders war die Sitte verbreitet, das Jahr mit dem Osterfest zu beginnen, ohne alle Rücksicht darauf, daß das Osterfest beweglich war, daß also in allen Jahren, in welchen zwischen zwei Osterfesten mehr als

365 Tage lagen, einige Daten doppelt vorkamen. Im Jahre 1179 z. B. wurde man zweimal „in den April geschickt", da das Jahr mit dem 1. April begann und erst mit dem zweitfolgenden 19. April schloß. Das Datum 6. April 1179 z. B. war darnach nur fest bestimmt, wenn man noch hinzusetzte: vor oder nach Ostern. Erst 1567 wurde der Jahresanfang in Frankreich vom Parlament auf den 1. Januar gesetzt. In den Niederlanden gab es bis 1575 vier verschiedene Jahresanfänge, Weihnachten, Charfreitag, Ostern und 1. Januar. In Großbrittanien hatte man drei verschiedene Jahresanfänge, den historischen am 1. Januar, den gesetzlichen oder bürgerlichen am 25. December und vom 13ten Jahrhundert an am 25. März, und den liturgischen am ersten Advent. Erst 1752 wurde der Anfang des bürgerlichen Jahres auf den 1. Januar gesetzt. In Deutschland wurde nur zwischen Weihnachten und 1. Januar geschwankt. Es blieb der letzte Tag immer ein Volksfest, an welchem man nach altrömischer Sitte Geschenke und Glückwünsche austauschte. Es war also sehr natürlich, daß die Regierungen endlich allgemein zu dieser Epoche zurückkehrten, so große Vorurtheile auch die frommen Gemüther gegen dieselbe hegen mochten.

Die Eintheilung unseres Jahres in Monate und die Benennung dieser weist auf römischen Ursprung hin. Bei den Römern war Martius ursprünglich der erste Monat des Jahres und nach König Numa's Anordnung sollen die Monate des Jahres gewesen sein:

Martius (von Mars)	mit	31	Tagen
Aprilis (Aufgehen)	„	29	„
Majus (Wachsen)	„	31	„
Junius (Gedeihen)	„	29	„
Quintilis (5 ter)	„	31	„
Sextilis (6 ter)	„	29	„
September (7 ter)	„	31	„
October (8 ter)	„	29	„
November (9 ter)	„	29	„
December (10 ter)	„	29	„
Januarius (von Janus)	„	29	„
Februarius (von Februus)	„	28	„

Januar, Februar und März erhielten also ihre Namen von alten Göttern, April, Mai und Juni von ihrer Beziehung zum Feldbau, die übrigen von ihrer Ordnungszahl. Alle Monate hatten eine ungerade Zahl von Tagen — die ungeraden Zahlen galten für glückbringend — nur der Februar eine gerade, damit die Gesammtsumme mit 355 Tagen wieder ungerade werde. Das Jahr war um 10¼ Tag zu kurz; es mußte sich dies bald fühlbar machen, da die Frühjahrsmonate in unmittelbare Beziehung zum Feldbau gesetzt waren, und nun wurden Schaltmonate von 22 oder 23 Tagen jedes zweite Jahr, aber wie es scheint, nicht regelmäßig eingeschaltet, und zwar in der Art, daß mit dem 23. Februar dieser Monat geschlossen wurde. Am 23. Februar wurde nämlich das Fest der Terminalia, zu Ehren des Gottes Terminus, des Gottes der Grenzen (der Monate wie der Felder), gefeiert. Am folgenden Tag begann der Schaltmonat, dem die 5 übrigen Tage des Februar ohne dessen Namen

angereiht wurden, so daß der Schaltmonat eigentlich 27 bis 28 Tage hatte. Für dieses Jahr gab es aber noch einen andern Anfang, die Consuln traten ihr Amt Mitte December und später an den Kalenden des Januar (1. Januar) an, wohl um bei Beginn des Feldzuges schon einige Zeit im Amte zu sein. So gab es ein Amtsjahr und ein Kalenderjahr.

Mit der Zeit verschoben sich die Kalenden des Januar in Folge falscher Einschaltung in der Art, daß sie nahe auf den Herbstanfang fielen. Julius Cäsar änderte nun den Kalender in der Absicht, den Frühjahrsanfang auf den März zurückzuführen und den Unterschied von Kalender- und Amtsjahr verschwinden zu lassen. Zu diesem Zweck erhielt das Jahr 708 der Stadt oder 46 vor Christus zwei außerordentliche Schaltmonate, das Jahr 45 vor Christus begann mit dem 1. Januar und die Zahl der Tage der Monate wurde festgestellt, wie sie noch heute sind. Das gewöhnliche Jahr hatte somit 365 Tage, und jedes 4te Jahr sollte ein Tag eingeschaltet werden. Der Quintilis erhielt nach dem Gründer des Kalenders den Namen Julius, später der Sextilis den Namen Augustus nach dem ersten Kaiser.

Man glaubte bisher, der Schalttag sei nach dem 23. Februar, dem Fest der Terminalien, eingefügt worden, er hieß nämlich bissextus, d. h. ein zweiter sechster Tag vor Anfang März. Die Römer hatten ja die Sitte, rückwärts zu rechnen, so daß der 28. Februar der Tag vor dem ersten März, der 27. der dritte Tag vor dem ersten März (den ersten März mitgerechnet) genannt wurde, also der 24. der sechste Tag vor dem

ersten März, und der Schalttag der zweite sechste. Es ist demnach auch in unsern Kalendern noch der Schalttag auf den 24. Februar gesetzt. Allein in der neuesten Zeit wurde eine Inschrift gefunden, welche unzweifelhaft zeigt, daß der bissextus dem sextus nachfolgte, daß also von Julius Cäsar der Schalttag auf den 25. Februar gesetzt wurde. Für das bürgerliche Leben wäre dieser Unterschied vollkommen gleichgiltig, wenn nicht in manchen Ländern noch der Feiertag Mathias am 24. Februar gefeiert würde (Matheis bricht's Eis, hat er keins, so macht er eins — heißt eine Bauernregel). Durch die Einfügung des Schalttages am 24. Februar wird dieser Feiertag auf den 25. Februar zurückgeschoben, also im Schaltjahr einen Tag später gefeiert. Nur der württembergische Kalender hat sich das nicht gefallen lassen, er fügt sich zwar im Text, aber in der Note heißt es: „er wird doch am 24. gefeiert“. Für eine Verlegung des Schalttages auf den 25. Februar, nachdem die oben genannte Inschrift gefunden worden, wird wohl Niemand sich ereifern, eher könnte man ihn an das Ende des Februar setzen, um nicht nachweisen zu müssen, warum er auf den 24. fällt.

Die siebentägige Woche — die Römer hatten eine von acht Tagen — ist aus der jüdischen Zeitrechnung in die christliche übergegangen. Ursprünglich stammt die siebentägige Woche von den Aegyptern, und wahrscheinlich rührt auch von ihnen die Benennung der Wochentage, wie sie in die meisten neuern Sprachen übergegangen ist. Die Aegypter stellten die ihnen bekannten Planeten, Sonne und Mond in folgende Reihe: Saturn, Jupiter,

Mars, Sonne, Venus, Merkur, Mond (Ptolemäisches Weltsystem). Die Astrologen setzten die aufeinanderfolgenden Stunden der Tage unter den Einfluß dieser 7 Planeten in regelmäßiger Folge, also die erste Stunde des Sabbath unter den des Saturn, die zweite unter den des Jupiter u. s. w. Damit fiel die erste Stunde des folgenden Tages unter den der Sonne, er hieß Sonntag, wieder die erste Stunde des folgenden Tages unter den des Mondes, er hieß Montag. So fortfahrend erhielt man den Tag des Mars, dann des Merkur, des Jupiter und der Venus. Die deutschen Namen dieser vier Tage sind umgeändert, zum Theil oder ganz nach altdeutschen Göttern, die französischen Namen z. B. halten sich noch ganz an die alte Bezeichnungsweise. Die Christen feierten bald den Sonntag statt des Sabbaths als Feiertag, weil Christus an einem Sonntag auferstanden sein soll und es hieß deswegen der Sonntag auch „Tag des Herrn".

Es kann manchmal die Frage entstehen, welcher Wochentag einem bestimmten Datum des julianischen Kalenders entspricht. Es ist nicht nöthig, zu diesem Zweck die Anzahl aller Tage bis zu einem bekannten Datum, die Schalttage mit eingeschlossen, zu berechnen, und daraus die Zahl der Wochen und übrigbleibender Tage, es gibt einen kürzern Weg, der rascher zum Ziele führt und in folgender Regel sich zusammenfassen läßt:

„Man sehe zu, welcher Rest übrig bleibt, wenn man die gegebene Jahrzahl mit 4 dividirt, und ebenso welcher Rest übrig bleibt, wenn man mit 7 dividirt. Wir wollen diese Reste kurz mit „Viererrest" und „Siebenerrest" be-

zeichnen, da sie uns später bei der Bestimmung von Ostern noch einmal vorkommen werden. Addirt man nun den doppelten Viererrest und den vierfachen Siebenerrest und rechnet noch die Zahl 4 hinzu, so erhält man eine Zahl, die mit 7 dividirt, einen Rest gibt, der den Tag der ersten Woche des April angibt, welcher ein Sonntag ist." Z. B. Rudolph von Habsburg wurde am 29. September 1273 zum deutschen König gewählt, was war dies für ein Wochentag? Der Viererrest der Jahreszahl ist 1, der Siebenerrest ist 6; der doppelte Viererrest, der 4fache Siebenerrest und 4 zusammengerechnet gibt 30, und wenn man 30 durch 7 dividirt, bleibt 2: d. h. der 2te April 1273 war ein Sonntag. Jeder Kalender zeigt aber, daß der 24. September denselben Wochentag hat, wie der 2. April, er war also auch ein Sonntag und folglich der 29. September 1273 ein Freitag.

Für das Jahr 1000 ist der Viererrest Null, der Siebenerrest 6, also die mit 7 zu dividirende Zahl 28, der Rest Null. Folglich war der nullte April, d. h. der 31. März in diesem Jahre ein Sonntag.

Kennt man irgend einen Sonntag des Jahres, so läßt sich leicht jeder Wochentag des Jahres ableiten, nur hat man beim Januar und Februar darauf zu achten, ob es sich um ein Schaltjahr handelt oder nicht, wenn man nach der obigen Regel zuerst einen Sonntag im April sucht. Will man aber auch dieses Geschäft vereinfachen, so benütze man folgende erweiterte Regel:

„Zum doppelten Viererrest wird der vierfache Siebenerrest und für die Monate:

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
3	0	0	4	2	6	4	1	5	3	0	5

(im Schaltjahr aber für Januar 4, für Februar 1) noch die unter jedem stehende Zahl hinzugerechnet, um die Zahl zu erhalten, die mit 7 dividirt einen Rest gibt, welcher das Datum des ersten Sonntags des betreffenden Monats angibt." *)

Alle 28 Jahre kehren die Jahre mit gleichen Wochentagen der Reihe nach wieder zurück, da der Viererrest und der Siebenerrest sich nicht ändert, wenn man eine Zahl um 28 d. h. um viermal sieben größer nimmt. Man hat diese Periode von 28 Jahren „Sonnencirkel" genannt, besser „Sonntagsbuchstabencirkel". Man bezeichnete nämlich den 1. Januar mit A, den 2. mit B u. s. w. bis G, dann den 8ten wieder mit A und so fort, so daß alle gleiche Wochentage gleiche Buchstaben tragen; um alle Wochentage zu kennen, genügte es also zu wissen, welcher Buchstabe dem Sonntag entsprach, oder welcher Sonntagsbuchstabe sei. Nach unserer obigen Regel bestimmt sich dieser einfach, wenn wir den ersten Sonntag des Januar suchen: Im Jahre 1250 z. B. war der 2. Januar ein Sonntag, also B der Sonntagsbuchstabe. Im Schaltjahr gab man dem 24. Februar und dem 25. gleichen Buchstaben, um nicht alle spätern Buchstaben auf andere Tage legen zu müssen; damit erhielt das Schaltjahr zwei Sonntagsbuchstaben, einen bis zum 24. Februar giltig, den andern von da an bis zum

*) Diese und die vorhergehende Regel gelten nur für den julianischen Kalender, für den gregorianischen siehe später die Regel. S. 290.

Schluß. Im Jahre 1000 war, wie wir gesehen haben, der 31. März ein Sonntag: wenn dies der Fall ist, ist im gewöhnlichen Jahr auch der 6. Januar ein Sonntag, d. h. F der Sonntagsbuchstabe, im Schaltjahr dagegen wäre es der 7. Januar, d. h. G der Sonntagsbuchstabe. Bis zum 24. Februar einschließlich ist also für dieses Jahr G, nachher F der Sonntagsbuchstabe.

Schon in den ersten Jahrhunderten nach Christus stellte man in Beziehung auf die Feier des Osterfestes die der Feier des jüdischen Passah ähnliche Regel auf: das Osterfest sei an dem Sonntag zu feiern, der nach dem ersten Frühlingsvollmond eintrifft. Unter erstem Frühlingsvollmond verstand man denjenigen Vollmond, welcher am 21. März oder zunächst nach diesem Datum eintrifft, und fiel der Frühlingsvollmond auf einen Sonntag, so wurde Ostern erst am folgenden Sonntag gefeiert. Doch wurde die Regel nicht durchgängig beobachtet; es entstand ein Streit über die Osterfeier zwischen der lateinischen und griechischen Kirche, der mehrere Jahrhunderte lang dauerte: dazu kam noch, daß der Frühlingsvollmond in verschiedener Weise, weil nicht astronomisch, bestimmt wurde, und daß statt des 21. März andere Daten genommen wurden. Erst um die Zeit Karl's des Großen vereinigte man sich durchweg zu einer und derselben Berechnung und die folgenden 8 Jahrhunderte wurde nun das Osterfest mit vollkommener Uebereinstimmung gefeiert.

Man ging dabei von der oben erwähnten neunzehnjährigen Periode aus und nahm an, daß nach je neunzehn Jahren die Neumonde wieder in gleicher Folge, am gleichen Datum eintreten; abwechselnd nach 29 und 30

Tagen setzte man wieder einen Neumond und bestimmte den Vollmond als 13 Tage später eintretend; (nicht fünfzehn, da der Neumond nach seinem ersten Erscheinen in der Abenddämmerung bestimmt wurde, was in der Regel zwei Tage nach dem wirklichen Neumond eintrat). Indem man in dieser Weise fortrechnete, hatte es keinen Anstand, den jedesmaligen Frühlingsvollmond und darnach Ostern zu bestimmen.*)

Die Regel gründet sich auf die Voraussetzungen, daß das tropische Jahr 365 Tage 6 Stunden dauere und daß nach 19 Jahren die Neumonde in gleicher Weise wieder eintreten. Beide Annahmen sind unrichtig und daher kam es, daß die Nachtgleichen und die Neumonde allmählich immer früher im julianischen Jahr eintraten. Zum Bewußtsein dieser Folge kam man jedoch erst im 14ten Jahrhundert, und erst Pabst Gregor XIII. brachte die Kalenderverbesserung im Jahre 1582 zu Stande. Er genehmigte die Vorschläge des Aloysius Lilius, der somit als eigentlicher Urheber des neuen Kalenders zu betrachten ist.

Um die Frühlingsnachtgleiche wieder auf den 21. März zu bringen, wurden im October 1582 zehn Tage aus dem Kalender weggelassen, nach dem 4. October wurde der 15. gezählt. Der 4. October war ein Donnerstag, der 15. wurde sonach, da eine Unterbrechung der Reihenfolge der Wochentage nicht nöthig war, im Gegentheil eine weitere Differenz gegen die den Kalender nicht annehmen-

*) Eine kurze Regel für die Berechnung von Ostern im julianischen Kalender siehe später S. 288.

den herbeigeführt hätte, als Freitag genommen. Es hatte dieses Jahr also bis 4. October den Sonntagsbuchstaben G, vom 15. October an dagegen C. Um ferner dafür zu sorgen, daß die Frühlingsnachtgleiche für immer auf dem 21. März bleibe, wurde bestimmt, daß alle 400 Jahre 3 Schalttage wegbleiben, und zwar je in den Säcularjahren, die durch 400 nicht theilbar sind; also blieben 1600 und 2000 Schaltjahre, 1700, 1800, 1900 dagegen sollten gewöhnliche Jahre sein. Nach dieser Bestimmung ist für mehrere tausend Jahre gesorgt, daß die Frühlingsnachtgleiche sich nicht verrücke, es ist also damit vorerst allen möglichen Anforderungen Genüge geleistet, da bis jetzt die Dauer des tropischen Jahres noch nicht so sicher bekannt ist, um genau sagen zu können, bis wann wieder eine Verschiebung um einen Tag stattfinden wird.

Zur Befestigung des Ostervollmonds, dessen astronomische Bestimmung man wieder umgehen wollte, erfand Lilius den Epactencyclus. Unter „luna epacta" verstand man das Alter des Monds, die Anzahl Tage, die seit Neumond verflossen sind, insbesondere für den 1. Januar. Im ersten Jahre des 19jährigen Mondcyclus sollte die Epacte I sein, d. h. am unmittelbar vorhergehenden 31. December war Neumond, der Mond war am 1. Januar einen Tag alt; im zweiten Jahre des Cyclus war dann die Epacte XII, da man abwechselnd 30 und 29 Tage vorwärts zählte, um den folgenden Neumond zu erhalten, also 12 Neumondperioden 354 Tage ausmachten, 11 Tage weniger als das gewöhnliche Jahr. Mit jedem Jahre rückten somit die

Epacten um 11 Tage vor, die Epacte des dritten Jahres war XXIII, die des vierten IV, da nach XXX die Rechnung von vorne begann, weil höchstens 30 Tage von einem Neumond zum andern vergingen. Rechnet man so fort, so kommt auf das zehnte Jahr die Epacte XIX und dann kam wieder die Epacte I des ersten Jahres mit einem Sprunge von 12 Tagen statt 11, da die Epactenreihe im neunzehnjährigen Cyclus gleich bleiben sollte.

Der neunzehnjährige Cyclus hatte schon im alten Kalender bestanden, und man hatte damals den Neumond im ersten Jahre desselben als am 23. Januar eintretend genommen, auch den Cyclus so bestimmt, daß man das laufende Jahr desselben fand, wenn man zur Jahreszahl Eins hinzurechnet, und den Rest bestimmt, der übrig bleibt, wenn man mit 19 dividirt. Dieser Rest hieß „goldene Zahl" und gab das laufende Jahr des Cyclus, (wenn kein Rest blieb, war es das Jahr 19). Lilius ließ diesen Cyclus stehen, die Regel blieb also, daß man zur Jahreszahl Eins rechnen und den beim Dividiren mit 19 bleibenden Rest bestimmen solle, um die goldene Zahl zu erhalten, aber er mußte natürlich die Epacten anders bestimmen. Wegen der Weglassung der zehn Tage und indem er eine Verschiebung des wahren Neumonds gegen den Cyclus von 3 Tagen annahm, gelangte er dazu, für die goldene Zahl 1 die Epacte I zu setzen, wie oben angeführt wurde.

War für ein Jahr die Epacte bestimmt, so hatte man nur abwechselnd um 30 oder 29 Tage vorwärts zu zählen und 13 Tage zum Neumondstage hinzuzurechnen,

um den Frühlingsvollmond zu erhalten, der nicht vor den 21. März fallen durfte. Den Tag dieses Vollmonds nannte man die Ostergrenze, sie fiel z. B. für die Epacte I auf den 12. April, für jede folgende Epacte je einen Tag früher, für die Epacte XXIII auf den 21. März XXIV auf den 19. April, da der 20. März nicht genommen werden durfte. Bei allen diesen Bestimmungen sah man vom Schaltjahr ganz ab, um jeder Epacte eine bestimmte Ostergrenze zuschreiben zu können.

Wurde wie 1700 ein Schalttag weggelassen, so rückten die Epacten um Eins zurück, der goldenen Zahl 1 entsprach von da an die Epacte XXX oder Null. Im Jahre 1800 müßte dann XXIX an die Stelle treten, aber zugleich rückt nach Lilius der Neumond um 1 Tag zurück; es geschieht dies alle 300 Jahre: 1800, 2100 u. s. w. Somit blieb 1800 die Epacte XXX für die goldene Zahl 1, und erst 1900 tritt XXIX ein.

Alle diese mehr oder weniger willkührlichen Bestimmungen und die Bedeutung der damit verbundenen technischen Ausdrücke jederzeit im Gedächtniß zu haben oder nur soweit ihr Wesen zu kennen, um zu jeder Zeit für ein beliebiges Jahr Ostern bestimmen zu können, ist ungemein schwierig. Glücklicherweise hat Gauß eine einfache Regel gegeben, welche in jedem Fall viel schneller zum Ziel führt und die Kenntniß der technischen Ausdrücke ganz unnöthig macht.

„Man bilde außer den schon oben genannten Vierer- und Siebenerresten der Jahreszahl auch noch den Neunzehnerrest; zu dem 19fachen dieses letzten Restes addire man:

für die Jahre

vor 1583,	1583—1699,	1700—1899,	1900—2099
15,	22,	23,	24

und bestimme den Rest der erhaltenen Zahl, wenn man sie mit 30 dividirt. Er heiße wieder Dreißigerrest. Rechnet man jetzt das Doppelte des Viererrestes, das Vierfache des Siebenerrestes, das Sechsfache des Dreißigerrestes und:

für die Jahre

vor 1583,	1583-1699,	1700-1799,	1800-1899,	1900-2099
6,	2,	3,	4,	5

zusammen, und dividirt die erhaltene Zahl mit 7, so bleibt ein zweiter Siebenerrest. Die Summe dieses letzten Restes und des Dreißigerrestes zu 22 hinzugerechnet gibt das Datum des März, an welchem Ostern stattfindet; erhält man aber dabei mehr als 31, so zieht man von jener Summe 9 ab und erhält das Datum des April, an welchem das Osterfest eintritt."

Wann war Ostern im Jahre 1000? Der Viererrest ist Null, der Siebenerrest 6, der Neunzehnerrest 12. Das 19fache dieses nebst 15 gibt 243, der Dreißigerrest ist somit 3. Das Doppelte des Viererrestes oder Null, das Vierfache des Siebenerrestes oder 24, das Sechsfache des Dreißigerrestes oder 18 und dazu 6 gibt 48. Der zweite Siebenerrest ist somit 6. Die Summe dieses und des Dreißigerrestes beträgt 9, also ist Ostern am 31. März. (Oben wurde der 31. März als Sonntag bestimmt.)

Wann war Ostern im Jahre 1451? Viererrest 3, Siebenerrest 2, Neunzehnerrest 7, Dreißigerrest 28,

zweiter Siebenerrest 6. Also Ostern am 25. April (da 56. März nicht zu brauchen ist). Dies ist das äußerste Datum für Ostern, das überhaupt vorkommen kann.

Für das Jahr 1871 ist der Viererrest 3, Siebenerrest 2, Neunzehnerrest 9, Dreißigerrest 14, zweiter Siebenerrest 4. Also Ostern am 9. April.

Da nach dem neuen Kalender 10 Tage ausfielen und an allen nicht durch 400 theilbaren Jahrhunderten ein Schalttag wegfällt, so ist auch die Berechnung der Wochentage eine etwas andere, als nach dem julianischen Kalender; die Regel lautet jetzt so:

„Zum doppelten Viererrest wird der vierfache Siebenerrest und noch für die Monate:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
vor 1583	3	0	0	4	2	6	4	1	5	3	0	5
1583—1699	6	3	3	0	5	2	0	4	1	6	3	1
1700—1799	0	4	4	1	6	3	1	5	2	0	4	2
1800—1899	1	5	5	2	0	4	2	6	3	1	5	3

(im Schaltjahr für Januar und Februar immer Eins mehr) hinzugerechnet, um die Zahl zu erhalten, die mit 7 dividirt, einen Rest gibt, welcher das Datum des ersten Sonntags des betreffenden Monats ist.“

Der neue Kalender wurde sogleich von allen katholischen Ländern und von den katholischen Ständen Deutschlands angenommen. Die evangelischen Staaten glaubten dem Pabst nicht so viel einräumen zu dürfen, und verwarfen den neuen Kalender unter dem Vorwand, er sei nicht ganz fehlerfrei. Es gab jetzt einen alten und einen neuen Kalender oder Stil. Trotz der dadurch entstehenden Verwirrung, trotz wiederholter Aufforderung auf verschiedenen Reichstagen und bei Friedensverhandlungen

wollten sich die deutschen evangelischen Stände nicht fügen, da sie das kaiserliche Ansinnen als eine Schmälerung ihrer Majestätsrechte ansahen. Erst 1700 wurde, besonders auf Leibnitzens Betrieb, ein sogenannter verbesserter Kalender eingeführt. Man zählte nach dem 19. Februar 1700 sogleich den 1. März und bestimmte Ostern, bis die Fehler des gregorianischen Kalenders gehoben seien, astronomisch, nach Kepler's Mondtafeln für den Meridian von Uranienburg, der berühmten ehemaligen Sternwarte Tycho's. An einen bestimmten Meridian mußte man sich bei der astronomischen Bestimmung halten, da immer zwei verschiedene Data auf der Erde gezählt werden. Im Moment, wo der Frühlings-Vollmond eintritt, werde z. B. der 24. März gegen Westen hin von einem Ort, der gerade Mitternacht hat, der 25. März gegen Osten hin gezählt. Ist der 25. März ein Sonntag, so hätte man im Westen Ostern am 25. März, im Osten am 2. April zu feiern. Bestimmt man dagegen den Vollmond nach einem bestimmten Meridian, so hat man natürlich nur ein Datum und ein Osterfest. In England wurde der neue Kalender erst 1752, in Schweden 1753 eingeführt, dort ging man vom 2. September zum 14., hier vom 17. zum 1. März über. Die Russen und Griechen haben noch den julianischen Kalender.

Im Jahre 1724 kam zum erstenmal eine Abweichung zwischen Katholiken und Protestanten vor, nach der astronomischen Rechnung fiel der Vollmond auf den 8., nach der cyclischen auf den 9. Das Datum des Frühlings-Vollmonds im März findet sich nämlich, wenn man den Dreißigerrest zu 21 rechnet: wird die Zahl größer als 31,

so zieht man 31 ab und hat das Aprildatum. Das Jahr 1724 hatte den Dreißigerrest 19, also Ostervollmond am 9. April, während er astronomisch auf den 8. April fiel. Da nun der 9. April ein Sonntag war, so feierten die Katholiken Ostern am 16. April, die Protestanten am 9. Eine zweite Verschiedenheit fiel auf 1744, nach der astronomischen Rechnung fiel der Vollmond auf den 28. März, der 29. März war ein Sonntag, also Ostern für die Protestanten, nach der cyclischen Rechnung fiel der Vollmond auf den 29. März, also Ostern acht Tage später auf den 5. April. Erst Friedrich dem Großen haben wir es zu danken, daß am 13. December 1775 beschlossen wurde, sich ganz an die cyclische Rechnung anzuschließen, um die Einheit des Kalenders in Deutschland wieder herzustellen.

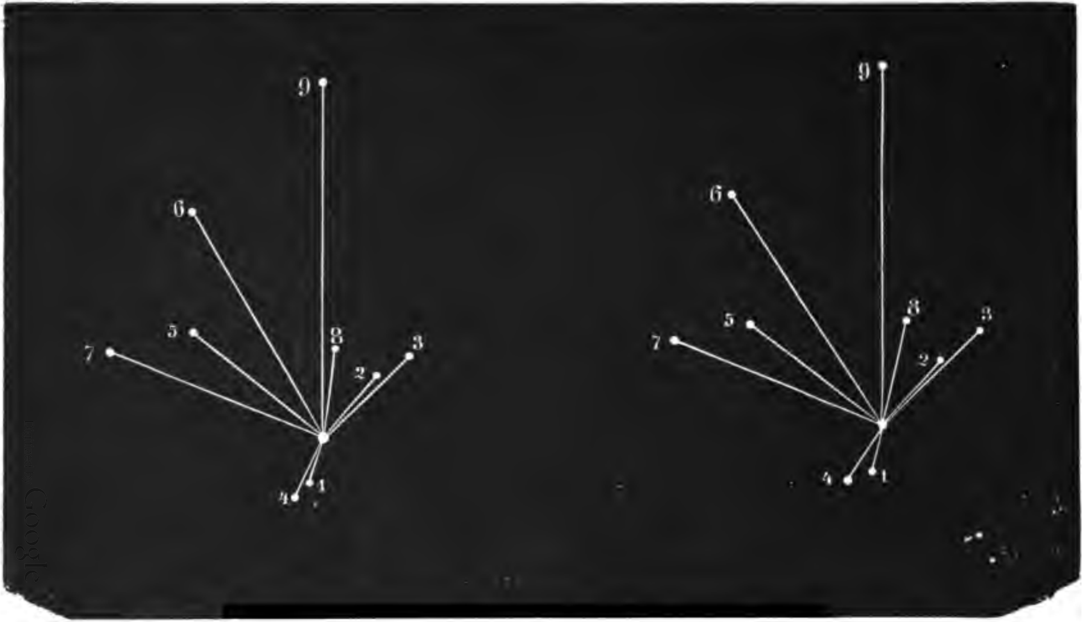
Viel Kampf und Streit hatte es gekostet, um die Einheit der Osterberechnung für die verschiedenen Confessionen zu Stande zu bringen, und was war damit erreicht? Vom 22. März bis 25. April kann das Osterfest im Jahre umherirren und ihm folgt das Pfingstfest, folgen alle die Sonntage vorher und nachher mit Ausnahme der wenigen an Weihnachten und Neujahr gebundenen. Die Zahl der Sonntage nach Trinitatis oder nach Pfingsten, und ebenso die Zahl der Sonntage nach dem Erscheinungsfeste wechselt von Jahr zu Jahr. Vierunddreißig verschiedene Kalenderformen gibt es, da Ostern auf 34 verschiedene Tage fallen kann, also mehr als Maße und Münzen jetzt noch gebräuchlich sind. Wie lange wird es noch dauern, bis der Verstand den Sieg über den Mondcultus davon trägt und Ostern ein für

allemal etwa auf den letzten Sonntag des März, oder ersten des April festgesetzt wird, oder bis man, um auch die Wochentage zu fixiren, jedes Jahr mit einem Sonntag beginnt, den letzten Tag des Jahres, im Schaltjahre die zwei letzten (der Februar behält dann immer 28 Tage) als namenlose hinzufügt, und Ostern regelmäßig am 1. April feiert!

Kgl. Hofbuchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn
in München.

Stereoskopische Darstellung der Lage der neun der Sonne nächsten Fixsterne.

Tafel V.



Stereoskopische Darstellung der Lage der neun der Sonne nächsten Fixsterne.

Tafel V.